

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**DISEÑO DEL CENTRO DE CONTROL DE  
MOTORES DE UNA PLANTA DE  
AZÚCAR MEDIANTE EL CÁLCULO DE LAS  
INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO**

---

**PROYECTO FIN DE CARRERA  
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL  
ESPECIALIDAD: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

Alumna: Silvia Herrero González

Tutora: Belén García de Burgos

Leganés, 22 de Octubre de 2015

## AGRADECIMIENTOS

*Tras varios días de reflexión, lo único que quiero expresar en estas pocas líneas es mi ilusión de poder compartir con los míos, a los que debo seguro la realización de este proyecto, mi alegría y orgullo por haber llegado hasta aquí.*

*El primer y mayor agradecimiento es para mi tía Carmen, sin duda por ser la persona más especial e importante de mi vida, la que forjó mi carácter y motivó todos y cada uno de los pasos que he dado, y sin la cuál no sería lo que hoy soy.*

*De manera especial quiero agradecer a mi madre por su cariño incondicional y ánimo diario para finalizar el proyecto. Y a mi padre y hermano, por ser un ejemplo a seguir de constancia y esfuerzo.*

*En el plano laboral y académico, quiero hacer mención a mis compañeros de Schneider Electric por todo lo aprendido en estos cuatro años, y por la ayuda y el soporte brindados. Al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UC3M, y especialmente a mi tutora Belén por la paciencia y ayuda, sin la cual no hubiera podido realizar esta memoria.*

*Y por último, te lo agradezco a ti; mi mayor motivación para haber realizado este proyecto. Gracias por tu ánimo, sonrisa, ayuda, paciencia y, sobre todo, por hacerme tan feliz todos los días.*

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1. CONDICIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PROCESADORA DE AZÚCAR. ....	10
1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO .....	12
1.3. NORMAS APLICADAS DURANTE EL PROYECTO .....	12
1.4. SISTEMA DE MEDIDAS .....	13
1.5. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	14
<b>2. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURAS.....</b>	<b>15</b>
2.1. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES. ....	15
2.2. NOMENCLATURA Y DESCRIPCIONES .....	16
2.2.1. CCM o Centro de Control de Motores.....	16
2.2.2. Aparamenta.....	17
2.2.3. Embarrado o Juego de Barras .....	18
2.2.4. Soportes de barras .....	20
2.2.5. Envolvente o estructura del Centro de Control de Motores.....	21
2.2.6. Cubículos .....	22
2.2.7. Conexiones extraíbles .....	24
2.2.8. Conexiones de potencia .....	24
2.2.9. Conexiones de mando.....	24
2.2.10. Índice de forma .....	25
2.2.11. Índice de protección.....	26
<b>3. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES .....</b>	<b>27</b>
3.1. LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO .....	27
3.1.1. Localización Geográfica .....	27
3.1.2. Plano de situación y emplazamiento.....	27
3.1.3. Condiciones Ambientales .....	28
3.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS .....	28
3.2.1. Envolvente .....	28
3.2.2. Grado de protección .....	30

---

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

3.2.3.	<i>Índice de forma</i>	31
3.2.4.	<i>Composición</i>	31
3.2.5.	<i>Ampliaciones y/o modificaciones</i>	32
3.2.6.	<i>Distancias mínimas de aislamiento</i>	32
3.2.7.	<i>Líneas de fuga mínima</i>	32
3.2.8.	<i>Compatibilidad Electromagnética</i>	32
3.3.	ACCESIBILIDAD	33
3.3.1.	<i>Para inspección u operaciones</i>	33
3.3.2.	<i>Para el mantenimiento</i>	34
3.3.3.	<i>Para ampliaciones bajo tensión</i>	34
3.4.	BARRAS COLECTORAS Y DERIVACIONES	35
3.4.1.	<i>Embarrado de potencia</i>	35
3.4.2.	<i>Embarrado de neutro</i>	36
3.4.3.	<i>Embarrado de tierra</i>	37
4.	<b>CÁLCULOS</b>	38
4.1.	OBJETIVO DE LOS CÁLCULOS	38
4.2.	ORIGEN DE LOS ESFUERZOS ELECTRODINÁMICOS	39
4.2.1.	<i>Ley de Biot y Savart</i>	40
4.2.2.	<i>Teorema de Ampère</i>	41
4.2.3.	<i>Ley de Laplace</i>	41
4.2.4.	<i>Teorema de Maxwell</i>	41
4.2.5.	<i>Fuerza entre dos corrientes rectilíneas indefinidas</i>	42
4.2.6.	<i>Fuerza ejercida sobre un conductor de sección rectangular</i>	43
4.3.	ORIGEN DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO	49
4.3.1.	Generalidades	49
4.4.	CÁLCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO	52
4.4.1.	<i>Hipótesis de partida</i>	53
4.4.2.	<i>Icc para un defecto trifásico por el método de las impedancias</i>	53
4.4.3.	<i>Cálculo de las impedancias de cortocircuito</i>	55
4.5.	CÁLCULOS DE LOS ESFUERZOS ELECTRODINÁMICOS Y DISTANCIA ENTRE SOPORTES	60
4.5.1.	<i>Cálculo de los esfuerzos electrodinámicos</i>	60
4.5.2.	<i>Cálculo de la distancia entre soportes</i>	65
5.	<b>ELECCIÓN DE COMPONENTES Y DISEÑO DEL CUADRO</b>	69
5.1.	ELECCIÓN DE LA APARAMENTA PRINCIPAL	69

5.1.1. Condiciones ambientales. ....	69
5.1.2. Características eléctricas generales .....	69
5.1.3. Características estructurales .....	71
5.1.4. Características térmicas .....	72
5.1.5. Lista de cargas .....	73
5.1.6. Interruptores automáticos .....	74
5.2. APARATOS DE MANDO, MEDIDA, PROTECCIÓN Y SEÑALIZACIÓN.....	77
5.2.1. Generalidades .....	78
5.2.2. Circuitos de mando y control.....	78
5.2.3. Aparatos de mando de los arrancadores.....	79
5.2.4. Transformadores de intensidad. ....	80
5.2.5. Señalizadores luminosos .....	80
5.2.6. Aparatos de medida .....	80
5.2.7. Relés de protección.....	81
5.2.8. Relés auxiliares.....	81
5.2.9. Reaceleración de motores.....	81
5.2.10. Código de colores de conductores.....	82
5.2.11. Cableado interno de los cubículos.....	82
5.2.12. Cableado interno de potencia.....	82
5.2.13. Cableado interno de mando .....	83
5.2.14. Elementos de protección .....	83
5.2.15. Tensión de control o de mando.....	85
5.2.16. Distribución de la tensión de mando .....	86
5.2.17. Cableado de control.....	86
5.2.18. Bloques de terminales.....	87
5.2.19. Elementos generales de visualización .....	88
5.2.20. Circuito de tierra .....	88
5.2.21. Resistencias anticondensación .....	89
5.2.22. Iluminación interna .....	89
5.2.23. Placas de identificación y sinóptico.....	89
5.3. LISTADO COMPLETO DE APARAMENTA .....	90
5.3.1. Acometida al Centro de Control de Motores.....	90
5.3.2. Salida Motor Arranque Directo: DOL_1 (Protección magnética) .....	90
5.3.3. Salida Protección de Variador de Velocidad: VSD .....	91
5.3.4. Salida Motor Inversor: INV.....	91
5.3.5. Salida Arrancador Progresivo: SS.....	92
5.3.6. Maniobra AD.....	92

5.4.	MECANIZADO DE BARRAS.....	93
5.4.1.	<i>Distancia de aislamiento.....</i>	93
5.4.2.	<i>Línea de fuga .....</i>	93
5.4.3.	<i>Fijacion de barras .....</i>	94
5.4.4.	<i>Punzonado .....</i>	94
5.4.5.	<i>Plegado del Juego de Barras .....</i>	94
5.4.6.	<i>Tornillos utilizados para el apriete de los contactos. ....</i>	95
5.4.7.	<i>Decalaje térmico .....</i>	96
5.4.8.	<i>Optimización térmica.....</i>	96
5.5.	FRONTAL DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES .....	97
5.6.	ESQUEMAS ELÉCTRICOS.....	98
5.6.1.	Esquema tipo ACOMETIDA.....	98
5.6.2.	Arranque directo DOL_1 .....	98
5.6.3.	Variador de velocidad VSD .....	98
5.6.4.	Arranque progresivo SS .....	98
5.6.5.	Arranque inversor INV .....	98
5.6.6.	Maniobra AD.....	98
5.7.	INSPECCIONES Y PRUEBAS .....	105
5.7.1.	<i>Introducción.....</i>	105
5.7.2.	<i>Tipos de ensayos realizables.....</i>	106
5.7.3.	<i>Ensayos de diseño .....</i>	108
5.7.4.	<i>Ensayos individuales .....</i>	110
6.	<b>PRESUPUESTO .....</b>	112
6.1.	PRESUPUESTO DE LA APARAMENTA.....	112
6.2.	PRESUPUESTO DE LA ENVOLVENTE .....	113
6.3.	PRESUPUESTO DE LAS BARRAS DE COBRE.....	114
6.4.	PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA Y TRANSPORTE .....	117
6.5.	PRESUPUESTO TOTAL DEL CENTRO DE CONTROL .....	120
7.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	121
7.1.	LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO.....	124
8.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso elaboración del azúcar .....	11
Figura 2. Interruptor de Acometida y Unidades Funcionales de Salida .....	15
Figura 3. Conjunto CCM montado .....	16
Figura 4. Categoría A.....	18
Figura 5. Categoría B.....	18
Figura 6. Detalle unión de barras.....	21
Figura 7. Detalle de unión entre columnas. Link JdBH-JdBH.....	19
Figura 8. Estructura y barras de una columna del CCM .....	20
Figura 9. Soporte de barras para acoplar hasta 6 barras por fase .....	20
Figura 10. Tamaños de perfiles del fabricante Schneider Electric.....	21
Figura 11. Armario envolvente del CCM.....	22
Figura 12. Cajón sin aparamenta .....	23
Figura 13. Cajón con aparamenta instalada .....	23
Figura 14. Colocación de cajón en el CCM.....	23
Figura 15. Emplazamiento de la planta de azúcar. ....	27
Figura 16. Índice de forma 3b .....	31
Figura 17. Variación de k en función de las razones b/a y d/a (ábaco de Dwight).. ....	49
Figura 18. Proceso de las corrientes de cortocircuito .....	51
Figura 19. Tipos de cortocircuito en un sistema trifásico.....	52
Figura 20. Detalle de esquema unifilar .....	55
Figura 21. Juego de Barras y sistema de soporte. ....	61
Figura 22. Coeficiente k1 en función de w y l .....	63
Figura 23. Coeficiente k2 en función de w y l .....	64
Figura 24. Factor de plasticidad según IEC 865. ....	67
Figura 25. Juego de Barras Principal.....	67
Figura 26. Vista de perfil de los soportes según In .....	67
Figura 27. Colocación de las barras en los soportes.....	68
Figura 28. Vista completa del JdB .....	68
Figura 29. Ejemplo de Certificado IEC 61439.....	107
Figura 30. Detalle aristas de pletinas de cobre.....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Compartimentación o Índice de forma.....	26
Tabla 2. Elección de embarrado principal según intensidad nominal.....	35
Tabla 3. Lista de cargas del CCM de la planta azucarera.....	74
Tabla 4. Modelos de interruptor de bastidor abierto del fabricante Schneider Electric .	76
Tabla 5. Modelos de interruptor de caja moldeada del fabricante Schneider Electric....	77
Tabla 6. Verificación individual del CCM.....	111
Tabla 7. Listado coste de Aparamenta.....	112
Tabla 8. Listado coste de Chapa y Soportes .....	113
Tabla 9. Cálculo del peso total de pletinas de cobre .....	116
Tabla 10. Costes de Estudio de diseño y delineación por Schneider Electric.....	117
Tabla 11. Oferta Coste de Montaje del CCM .....	118
Tabla 12. Oferta Coste de Transporte del CCM .....	119
Tabla 13. Resumen de presupuesto .....	120



## 1. INTRODUCCIÓN

La seguridad industrial toma cada día una mayor importancia especialmente en el sector alimentario. Con el fin de garantizar una máxima seguridad en este tipo de instalaciones se requiere de estudios, en fases de diseño, que demuestren el comportamiento de los materiales y componentes de una instalación eléctrica para unas condiciones particulares.

El sector industrial de producción de azúcar en España constituye un motor económico en las zonas en las que está presente. Es un sector muy vinculado al mundo rural, que obtiene su materia prima de más de 8.000 agricultores y suministra empleo directo a alrededor de 2.000 personas. La extracción de azúcar impacta también de manera importante a nivel local, a otros sectores tales como el transporte, almacenamiento, industrias auxiliares, tránsito portuario, etc.

La cuota de producción de azúcar en España está regulada por varias normas europeas, siendo la más conocida el Reglamento denominado “OCM Única” Organización Común de Mercados Agrícolas [1]. La cuota de producción de azúcar asignada actualmente en España es de 498.480 toneladas, volumen que cubre únicamente una parte de la demanda interior de 1.300.000 t. La parte restante se cubre con azúcar que se importa de otros países.

El “Programa nacional de la agroindustria del azúcar” está concebido por un conjunto de acciones integradas y coordinadas por el Consejo Nacional de Producción [2] referidas a las áreas de proceso, infraestructura, comercialización, calidad de producto, organización empresarial y sus externalidades por contaminación ambiental y posibles efectos en la salud pública.

La estrategia del programa planteada está orientada hacia una mejora de la actividad y cada acción debe estar plenamente justificada y ser congruente y coherente para el desarrollo de estos tres conceptos:

- Promueve el crecimiento económico al generar ingresos basados en la integración vertical de la fase agrícola y agroindustrial (valor añadido).
- Sostiene e impulsa la actividad manteniendo el vínculo de presencia y permanencia, cuyo beneficio social se traduzca en una mejora evidente tanto para la familia como para la mano de obra que se beneficia.
- Mantiene y reconoce el plano ambiental y de salud pública como ejes armónicos y esenciales del desarrollo.

Avanzar en el Programa de Modernización de la Agroindustria del azúcar, significa actuar en diversos frentes para cumplir con una necesidad actual ante la crisis

---

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

de precios que presenta el sector primario y secundario. En este sentido es necesario definir una serie de pautas para el diseño, fabricación y explotación de una fábrica procesadora de azúcar.

### 1.1. CONDICIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PROCESADORA DE AZÚCAR.

La distribución de la planta está demarcada por el proceso mismo para producir el dulce. Este proceso a grandes rasgos es el siguiente; [3] recepción de la caña, molienda, recolección de bagazo, limpieza de jugos, paso de los jugos a la hornilla y posterior evaporación del agua, moldeo del dulce, traslado del dulce a mesas de empaque, empaque, traslado a bodega, transporte y venta.

Cada sitio del flujo o proceso debe estar claramente separado, tanto desde el punto de vista físico como desde el sanitario. Una distribución donde haya choque entre distintas funciones pondrá en riesgo las personas, el producto, el proceso y las instalaciones mismas, ya que se aumentarán los factores que producen accidentes. Por tanto, una planta coherentemente distribuida, debe presentar los puntos que se desarrollan a continuación:

**Los Patios de maniobra:** donde los vehículos llegan con la caña de azúcar y se trasladan a la zona de molienda.

**Zona de recepción de la caña, molienda, prelimpiadores y tanque de paso:** es el área de recepción de la caña y es la zona más alta de la planta.

**El molino y su motor:** se ubicarán adelante de la zona de recepción de la caña y debe instalarse de manera que no implique riesgo alguno para las personas que allí trabajen, así como para el producto y/o las instalaciones.

**Los prelimpiadores y tanque de paso:** permiten retirar el bagazo, y gran parte de los lodos y arenas presentes en el jugo recién extraído, obteniendo el producto claro según el tipo de caña.

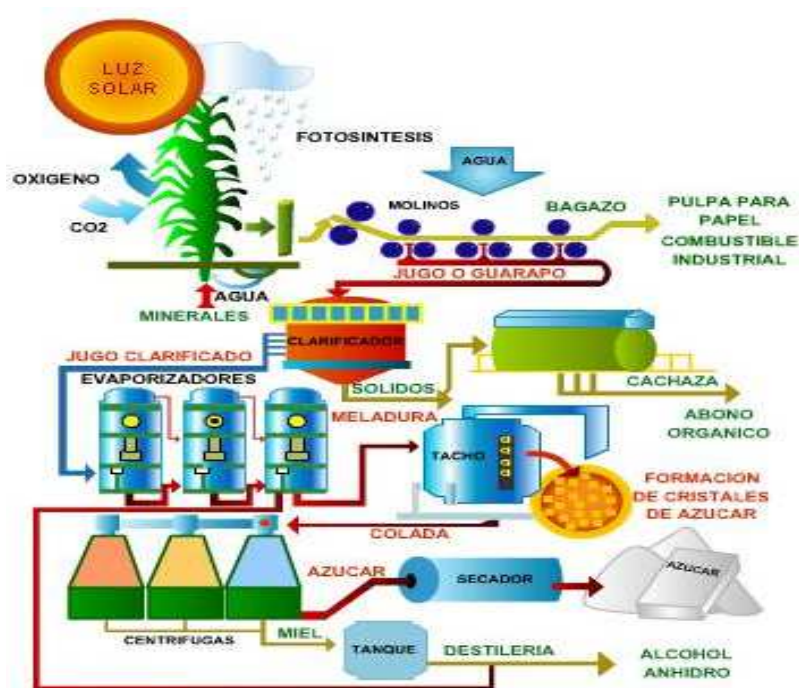
**Zona de almacenamiento y secado del bagazo:** el bagazo, residuo leñoso de la caña de azúcar que resulta de la extracción, se emplea en las plantas de azúcar como combustibles para producir la energía que usa la hornilla.

**Zona de procesamiento de jugos, moldeo de dulce, empaque y almacenamiento:** aquí es donde se debe tener mayor control higiénico y de calidad en la elaboración del producto.

**Otras zonas secundarias:** serán patios, vías de acceso, pisos, pasillo, paredes, techos, ventanas y puertas, rampas y escaleras, instalaciones sanitarias, inodoros, tratamiento de aguas

**Instalaciones eléctricas:** En las plantas de dulce se maneja el bagazo como combustible, este normalmente se encuentra en sitios expuestos. Cuando el bagazo se seca es fácilmente inflamable, es por ello que el diseño de los sistemas eléctricos y su construcción debe hacerse con el mayor de los cuidados. En este apartado se debe garantizar la máxima seguridad para las personas, la planta y el producto. Estas instalaciones se harán de acuerdo a la normativa vigente UNE-EN 20460 "Instalaciones eléctricas en edificios" según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (España).

Las dimensiones de una instalación eléctrica, de los materiales que se instalan, así como la determinación de las protecciones de personas y bienes, dentro de una planta como la que hemos descrito, precisan del cálculo de las corrientes de cortocircuito en cualquier punto de la red.



**Figura 1. Proceso elaboración del azúcar. Tomada de [4].**

## 1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto es realizar los cálculos y análisis necesarios para la determinación de la intensidad de cortocircuito de los juegos de barras horizontales o principales -JdBH- de un Centro de Control de Motores -CCM- y los esfuerzos electrodinámicos asociados, que nos permitirá dimensionar los soportes de las barras y la aparamenta a incluir en el CCM. El Centro de Control de motores estudiado, será aplicado en una Fábrica de azúcar, cuyo cometido será realizar la protección de los motores instalados en esta planta ubicada en Jerez para un funcionamiento seguro y conforme a la normativa de Conjuntos de Aparamenta de Baja Tensión IEC61439 [5].

Es en los circuitos de potencia de una instalación de BT donde se presenta la mayor resistencia a las fuerzas electrodinámicas. Estas fuerzas dependen, sobre todo, de la intensidad de corriente de defecto pero también de la forma de los conductores, de su disposición relativa y del sistema de fijación.

En el presente proyecto, se pretende resolver y justificar este problema asociado a las instalaciones de BT, mediante el empleo de cálculos. Este documento podrá servir de guía y justificación del empleo correcto de conductores ante la respuesta de fuerzas electrodinámicas, ya que en la realidad, sólo la validación por un ensayo del valor real permite obtener un documento que reconozca la conformidad con las exigencias de las normas. Para este proyecto no se realizaron estos ensayos por su elevado coste económico y se tuvieron en cuenta valores de un fabricante cualificado.

El presente proyecto se aplica para una planta procesadora de azúcar, pero cabe destacar que mucha de la información incluida en el proyecto es también válida para plantas similares de la industria alimentaria.

## 1.3. NORMAS APLICADAS DURANTE EL PROYECTO

A lo largo del presente proyecto se han empleado las siguientes normas [5] [6] [7] [8]:

Normas UNE y CEI de aplicación y en particular las siguientes.

IEC 61439 1&2. Conjuntos de Aparamenta de Baja Tensión

CEI 61641 Protección contra el arco interno.

UNE 20324:1993 Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP) (CEI 529:1989)

UNE 20890/1M: 1999 Método para la determinación por extrapolación del calentamiento de los conjuntos de aparamenta de baja tensión derivados de serie (CDS).

UNE-EN-60044-1 2000 Transformadores de medida.  
Parte I: Transformadores de intensidad.

UNE-EN-60044-2 1999 Transformadores de medida.  
Parte II: Transformadores de tensión inductivos.

CEI-EN 60204-1 Equipamiento eléctrico de las máquinas.

UNE-EN 55011 Emisiones electromagnéticas.

IEC 60947: Aparamenta de Baja tensión

Parte 2: Interruptores automáticos

Parte 4: Para Contactores y arrancadores de motor. Contactores y arrancadores electromecánicos.

IEC 60269: Fusibles BT

IEC 60289: Inductancias

IEC 60529: Grado de protección par alas envolventes (código IP).

#### 1.4. SISTEMA DE MEDIDAS

A lo largo del proyecto se utilizará el Sistema Métrico Internacional (SI) de unidades de medida siendo el incluido en toda la documentación.

### 1.5. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente proyecto se estructura en cinco capítulos distinguiéndose; un capítulo para la introducción y antecedentes, ya descrito. El segundo punto se constituirá de descripciones varias y nomenclaturas, el tercero será la especificación técnica del proyecto donde se recogen los requisitos y necesidades del proyecto. El cuarto capítulo se compondrá de los cálculos necesarios, distinguiendo una parte de teoría de orígenes y otra con los cálculos específicos. El quinto capítulo será el diseño y elección de componentes según las especificaciones y valores obtenidos de los dos capítulos anteriores. El capítulo seis, constituye un presupuesto completo del proyecto. Y los dos últimos apartados serán las conclusiones y la bibliografía empleada para la realización del presente proyecto.

## 2. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURAS

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES.

Tal y como su nombre indica los centros de control de motores son cuadros eléctricos en donde se centralizará el mando de todos los motores de la fábrica que cumplan una serie de requisitos.

El Centro de Control de Motores, objeto del presente proyecto, se alimenta directamente desde un transformador de distribución de media tensión, en cuyo caso el interruptor general del CCM es el interruptor general de baja tensión del transformador. [9] Las salidas del CCM se constituyen de los circuitos de protección individuales de cada motor existente en la planta explotadora. La alimentación de potencia tanto del interruptor de acometida como de los disyuntores de salida se dispone por un juego de barras horizontal (principal) y vertical (distribución), dimensionado según los esfuerzos electrodinámicos solicitados por la aparamenta a incluir según las necesidades de la explotación de la planta.

Los centros de control de motores de tipo extraíble modular [10], dispone de todas sus salidas a motor en cubículos extraíbles.

Los cubículos extraíbles se pueden extraer de su posición de trabajo sin necesidad de cortar la tensión al resto de los elementos del CCM.



**Figura 2. Interruptor de Acometida y Unidades Funcionales de Salida. Tomada y modificada de [11].**

Los cubículos de los CCM permiten tres posiciones de trabajo [11]:

- a) Cubículo insertado, en la cual las conexiones de potencia y mando están completamente establecidas (conectadas).
- b) Cubículo en pruebas, en la cual las conexiones de potencia no están establecidas, pero las conexiones de mando permanecen conectadas.

c) Cubículo extraído, en la cual las conexiones de potencia y las de mando están desconectadas.

Además, los cuadros extraíbles modulares están formados, a su vez, por columnas o paneles autoportantes y divididos funcionalmente para obtener los siguientes compartimentos:

- Compartimento para barras generales de distribución dispuestas horizontalmente.
- Compartimento para barras verticales para derivaciones.
- Compartimento para los bornes de conductores externos.
- Compartimento para todas las unidades funcionales.



**Figura 3. Conjunto CCM montado. Tomada y modificada de [11]**

## 2.2. NOMENCLATURA Y DESCRIPCIONES

A continuación se definirá la nomenclatura empleada a lo largo del proyecto así como descripciones de las distintas partes de las que se compone un Centro de Control de Motores -CCM-.

### 2.2.1. CCM o Centro de Control de Motores

Un CCM o Centro de Control de Motores consiste en un armario metálico (o cuadro eléctrico) dividido en columnas de ancho variable, formadas a su vez por cubículos o cajones individuales, con puertas individuales [12].

El centro de control de motores tiene la finalidad de controlar todos los motores de una planta (en el presente proyecto de azúcar). Desde cada cajón partirá el cable que alimentará a cada uno de los motores que se especificarán en una lista de cargas, y por tanto cada cajón controlará un motor.

---

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*



En cada cubículo o cajón se instalará un sistema o circuito de protección y en la puerta de cada cajón se instalarán los pulsadores de marcha, parada, contramarcha y regulación de velocidad. Dentro del cajón, sobre una plataforma extraíble, se instalarán contactores, variadores, etc.

El conjunto total de cajón, circuito, pulsadores, etc, formarán una Unidad Funcional (UF). Los circuitos que implementan estos cajones se especificarán en detalle en el apartado correspondiente y se aportarán los planos tipo de cada salida a motor.

En cuanto a la elección de cada Unidad Funcional, depende de la máquina a controlar y de la intensidad de cortocircuito que deba soportar. Los elementos requeridos serán diferentes si el motor necesita arranque estrella triángulo o arranque directo, marcha simple o marcha y contramarcha, o variación de velocidad.

### **2.2.2. Aparamenta**

La Aparamenta eléctrica es el conjunto de aparatos de maniobra, de regulación y control de medida, incluidos los accesorios de las conexiones a las barras conductoras, utilizados en una instalación eléctrica.

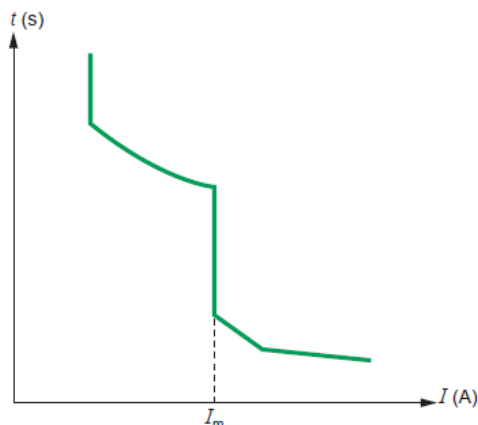
Todos los componentes incluidos en el CCM que vamos a dimensionar en este proyecto, como relés, interruptores, contactores, etc, que se incluirán dentro de cada cajón y que formarán las unidades funcionales de protección de cada salida a motor y acometida conforman el total de la aparamenta.

La aparamenta elegida para la implantación del CCM en el presente proyecto se verá afectada por dos tipos de decalajes; térmico y por el grado de protección de las envolventes. Entendiéndose como *decalaje* al desfase que se produce en la intensidad nominal de los aparatos por presencia de temperaturas más elevadas a las de diseño, ya sea por una temperatura ambiente elevada o por influencia de la envolvente propia del aparato.

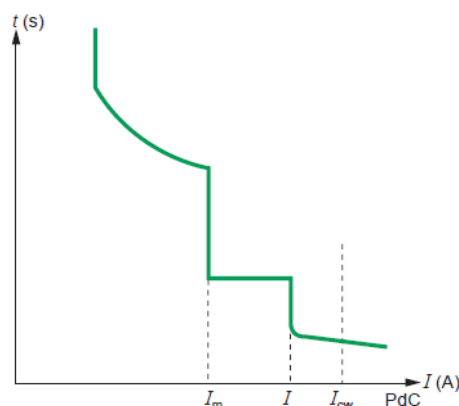
Según la norma IEC 60947-2 existen dos categorías de aparamenta de baja tensión, A y B:

Los de la categoría A, para los que no existe un retardo deliberado en el funcionamiento del dispositivo de disparo magnético por cortocircuito “instantáneo” (véase la Figura 5), son por lo general interruptores automáticos de caja moldeada, y los de la categoría B para los que, con el fin de distinguirlos de otros interruptores automáticos en función del tiempo, es posible retrasar el disparo del interruptor automático, donde el nivel de la corriente de defecto es menor que el del valor nominal de la corriente de resistencia de corta duración ( $I_{cw}$ ) del interruptor automático (véase

la Figura 7). Esto se aplica por lo general a grandes interruptores automáticos de bastidor abierto y a determinados equipos de gran resistencia con caja moldeada.  $I_{cw}$  es la corriente máxima que puede resistir el interruptor automático de la categoría B, térmica y electrodinámicamente, sin sufrir daños durante un periodo de tiempo.



**Figura 4. Categoría A.**



**Figura 5. Categoría B.**

### 2.2.3. Embarrado o Juego de Barras

También conocido como barraje, o barra colectora. Es el término utilizado en el sector eléctrico para referirse a las conexiones conductoras de un cuadro eléctrico de las entradas y salidas del mismo. Se trata de barras de cobre capaces de conducir grandes intensidades cuyas secciones deberán ser capaces de soportar las elevadas tensiones mecánicas producidas en caso de cortocircuito. El elemento más habitual de construcción es el cobre electrolítico.

Por lo general se utilizan barras del mismo tamaño para las tres fases y el neutro, normalmente identificados con alguna pegatina según la fase (L1, L2 y L3, en España puesto que ya no se usa la antigua nomenclatura de R, S, T, y N para el neutro) sobre un fondo de color, basándose en las instrucciones del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión [5].

El embarrado se dispone a la salida del interruptor general para el reparto de potencia a los elementos que componen el centro de control de motores, distinguiendo entre tres tipos de embarrados o juegos de barras -JdB-:

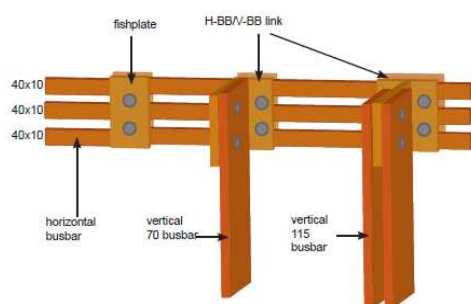
- ✓ Embarrado horizontal o principal -JdBH- (Juego de Barras Horizontal).  
Consiste en un juego de pletinas de cobre de sección rectangular que sirven para distribuir la potencia a lo largo del cuadro. Este embarrado irá

---

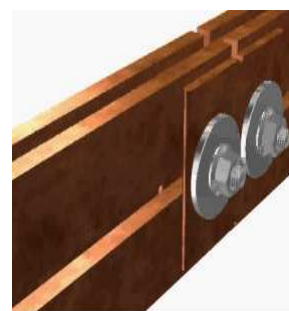
*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

unido a los embarrados verticales que colgarán del principal para distribuir la energía a los diferentes interruptores del cuadro CCM.

- ✓ Embarrado vertical o de distribución -JdBV- (Juego de Barras Vertical).  
Formado por barras conductoras de cobre que distribuirán la energía a las diferentes unidades funcionales del cuadro (tanto al interruptor de acometida como a las salidas del CCM)
- ✓ Embarrado de tierra -JdBPE-  
Sirve como punto común a todos los conductores de puesta a tierra del cuadro de modo que sea sencillo conectar éstos a la puesta a tierra de la instalación. Si la pletina está taladrada se colocan unos terminales a los cables de tierra y se conectan mediante un tornillo. Si la pletina no está taladrada se conecta directamente el cable (sin punta terminal) mediante conectores especiales.
- ✓ Uniones auxiliares.  
Denominaremos uniones auxiliares de los embarrados a aquellas partes que unirán:  
El embarrado horizontal con el vertical (Link JdBH-JdBV)  
El embarrado horizontal con horizontal (Link JdBH-JdBH)  
Unión del embarrado vertical con el interruptor de acometida (Link JdBV-Acom)  
Unión del embarrado vertical con las salidas del CCM (Link JdBV- Salidas)



**Figura 6. Detalle unión de barras.**  
**Tomada y modificada de [11]**



**Figura7.Detalle de unión entre columnas. Link JdBH-JdBH. Tomada y modificada de [11]**

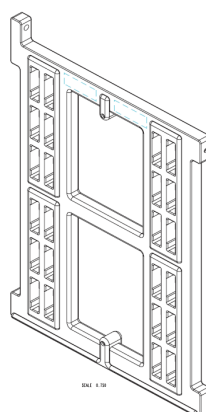


**Figura 8. Estructura y barras de una columna del CCM.** Tomada y modificada de [11]

En el capítulo 5 se explicará en detalle la construcción y arquitectura del embarrado horizontal o principal -JdBH-, objeto del presente proyecto.

#### **2.2.4. Soportes de barras**

Son los soportes sobre los que se apoyan las pletinas que forman el embarrado horizontal y son realizados con materiales aislantes (normalmente polímeros). Su colocación y distribución a lo largo del embarrado horizontal dependerá de las fuerzas electrodinámicas que sufren las barras, por lo que deberán tener una alta resistencia mecánica y respetar una distancia máxima entre soporte y soporte.



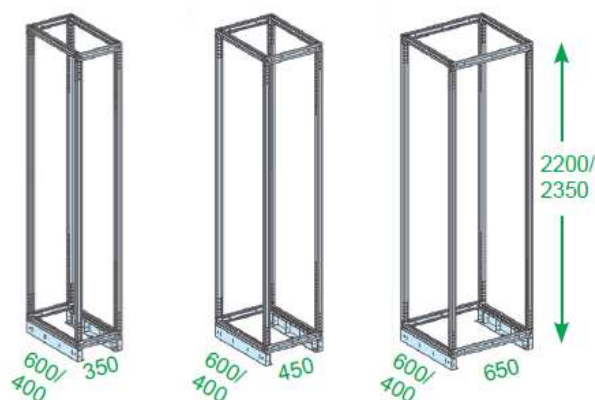
**Figura 9. Soporte de barras para acoplar hasta 6 barras por fase.** Tomada y modificada de [11]

### 2.2.5. *Envolvente o estructura del Centro de Control de Motores*

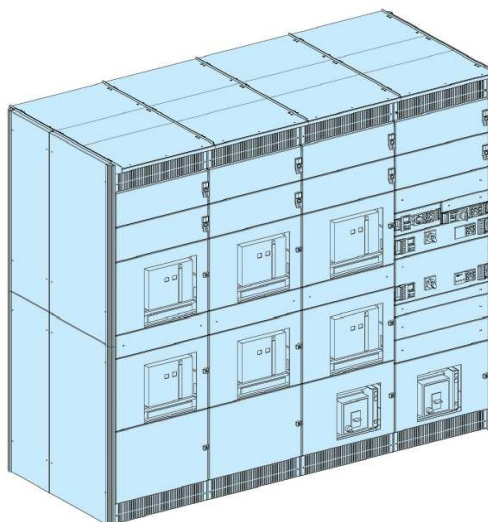
La envolvente o estructura del CCM está compuesto por los perfiles y las placas de chapa que componen el armazón del cuadro. Éste debe estar dotado de suficiente rigidez y estabilidad para soportar los esfuerzos mecánicos producidos principalmente por el peso de los elementos, aparataje y barras de cobre principalmente, que se situarán en él.

Los perfiles serán los soportes para la aparataje. Deben ser rígidos y resistentes a la corrosión, además de amagnéticos. Los principales materiales usados son el aluminio y el acero. Y las geometrías tienen unas medidas estándar según las normas EN 50035, 50022 y DIN 46277.

Las placas son chapas de acero galvanizado para proteger ante la corrosión a los elementos internos del cuadro.



**Figura 10. Tamaños de perfiles del fabricante Schneider Electric. Tomada y modificada de [11]**



**Figura 11. Armario envoltante del CCM**

#### **2.2.6. Cubículos**

Los cubículos o cajones de los que se componen los centros de control de motores, contendrán los elementos de potencia y mando de cada motor, estos cubículos serán completamente extraíbles, de forma que el personal de mantenimiento pueda desconectar completamente el cubículo y trasladarlo con todo el aparellaje de potencia y mando del motor o sustituirlo por otro cubículo del mismo tamaño.

Los cubículos tendrán tres posiciones de trabajo:

- Cubículo en servicio: en esta posición las conexiones de potencia y las conexiones de mando estarán conectadas.
- Cubículo en pruebas: en esta posición las conexiones de mando estarán conectadas, y las conexiones de potencia estarán desconectadas.
- Cubículo desacoplado: en esta posición las conexiones de potencia y las conexiones de mando estarán desconectadas.

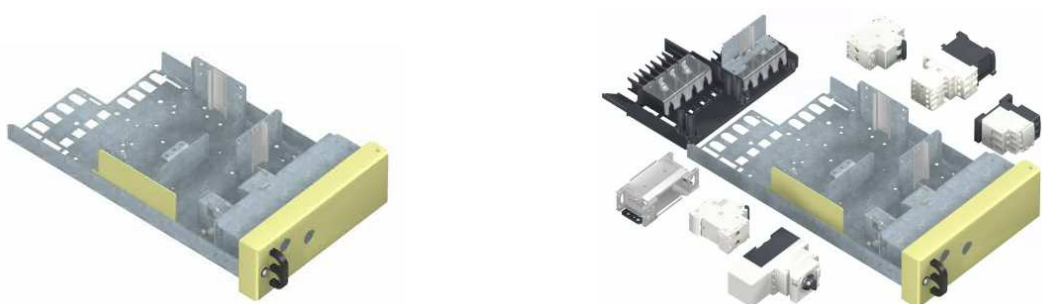
A estas tres posiciones habrá que añadirle una cuarta que será cubículo completamente extraído.

Las tres posiciones de trabajo mencionadas anteriormente, tendrán un dispositivo mecánico de enclavamiento, precintable con tres candados que impida el cambio de una posición a otra sin el levantamiento de dicho enclavamiento.

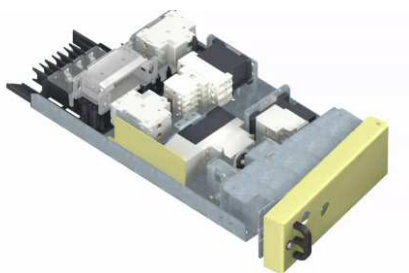
Los cubículos poseerán un dispositivo de enclavamiento mecánico que impida el paso de cubículo en servicio a cubículo en pruebas o cubículo desacoplado, con la salida en marcha.

Los cubículos extraíbles poseerán un final de carrera que proporcione una señal confirmando la posición de cubículo en servicio.

En el frontal del cubículo se montará un rótulo indicador, con la referencia, el nombre y la potencia nominal del motor.



**Figura 12. Cajón sin aparamenta. Tomada y modificada de [11]**



**Figura 13. Cajón con aparamenta instalada. Tomada y modificada de [11]**



**Figura 14. Colocación de cajón en el CCM. Tomada y modificada de [11]**

### **2.2.7. Conexiones extraíbles**

Las conexiones extraíbles son la base del centro de control de motores objeto de esta especificación; es por ello necesario que los elementos que componen las pinzas que realizan la conexión sean de la máxima calidad y aseguren el contacto eléctrico en todas las condiciones de utilización, dentro de las especificaciones del fabricante. Las conexiones extraíbles se dividen en dos tipos; conexiones de potencia y conexiones de mando.

### **2.2.8. Conexiones de potencia**

Cada cubículo de motor de los centros de control de motores, poseerá tres conjuntos de conexiones de potencia de entrada y tres conjuntos de conexiones de potencia de salida, cada conjunto estará compuesto por el número de pinzas necesario, por fase, según la especificación de corriente máxima de cada tamaño de cubículo.

Como norma general, las pinzas de conexión tanto de entrada como de salida permitirán el montaje extraíble de arrancadores de motor de hasta 200 kW, como máximo.

Las conexiones de los servicios de potencia superior a 200 kW. se realizarán con elementos fijos.

Las capacidades de corriente de las especificaciones de las pinzas de conexión de los centros de control de motores se indicarán en amperios de servicio permanente, para cargas fuertemente inductivas y para las condiciones climáticas expresadas en los datos técnicos de esta especificación.

El diseño del centro de control de motores asegurará que, en la posición de prueba y en la posición desacoplado, las pinzas de entrada y de salida de potencia estén completamente desconectadas.

Las conexiones de potencia de salida, deberán estar protegidas de forma que sea posible la manipulación de los conductores de potencia de uno de los cubículos sin necesidad de desconectar tensión en los cubículos adyacentes. Como mínimo deberán tener un grado de protección IP-20.

### **2.2.9. Conexiones de mando**

Las conexiones de mando son aquellas que conectarán y alimentarán a la aparamenta auxiliar (aparatos de medida, pilotos luminosos, pulsadores...) de cada unidad funcional.



Cada unidad funcional o cubículo de motor del centro de control de motores, poseerá dos conjuntos de conexiones de mando, cada uno compuesto de diez conexiones como mínimo, de las cuales una de las conexiones será de puesta a tierra.

Estas conexiones de mando permitirán la conexión de un conductor flexible con puntera de 4 mm<sup>2</sup> como mínimo.

Los dos conjuntos de conexiones de mando estarán separados físicamente entre sí de forma que sean fácilmente diferenciables.

Estos veinte puntos de conexión deberán ser accesibles desde el canal de cableado que se definirá más adelante, y podrán ser manipulables sin necesidad de desconectar tensión.

La toma de tensión de mando para el cubículo podrá estar incluida en las veinte conexiones de mando anteriormente mencionadas o podrá estar dispuesta de forma independiente, con la condición de que cada cubículo pueda recibir una tensión de mando diferente de la de los cubículos adyacentes.

Las conexiones de mando proporcionarán la suficiente seguridad en la conexión tanto eléctrica como mecánica, de forma que no se puedan producir fallos de mando por defectos en el acoplamiento extraíble.

En la posición de prueba las conexiones de mando mantendrán el contacto entre los conductores de mando y el cubículo.

#### **2.2.10. Índice de forma**

El índice de forma se refiere al tipo de compartimentación que tendrá el cuadro con respecto a barras, unidades funcionales y bornes. Consiste en la separación interna con pantallas o tabiques que garantizan la protección contra los contactos directos.

Existen diferentes grados de protección según la seguridad que queramos garantizar [5].

<b>Criterio principal</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Forma</b>
Sin separación interna		Forma 1
Separación de los juegos de barras de las unidades funcionales.	Los bornes de los conductores externos no separados de los juegos de barras	Forma 2a
	Los bornes de los conductores externos separados de los juegos de barras	Forma 2b
Hay separación entre los juegos de barras de las unidades funcionales y separación entre todas las unidades funcionales. Hay separación de los bornes para los conductores externos de las unidades funcionales, pero no de aquellos de otras unidades funcionales.	Los bornes de los conductores externos no separados de los juegos de barras.	Forma 3a
	Los bornes de los conductores externos separados de los juegos de barras.	Forma 3b
Hay separación entre los juegos de barras de las unidades funcionales y separación entre todas las unidades funcionales. Hay separación de los bornes para los conductores externos asociados con una unidad funcional de aquellos de cualquier otra unidad funcional y del juego de barras.	Los bornes para los conductores externos están en el mismo compartimento que la unidad funcional asociada.	Forma 4a
	Los bornes para los conductores externos no están en el mismo compartimento que la unidad funcional asociada, sino individualmente, separados, espacios cerrados protegidos o compartimentos.	Forma 4b

**Tabla 1. Compartimentación o Índice de forma. Tomada de [5]**

### **2.2.11. Índice de protección**

El Grado de protección IP hace referencia al estándar internacional IEC 60529 [5] Degrees of Protection. Especifica un efectivo sistema para clasificar los diferentes grados de protección aportados al CCM por los contenedores que resguardan los componentes que constituyen el equipo.

Este estándar ha sido desarrollado para calificar de una manera alfa-numérica al equipo en función del nivel de protección que sus materiales contenedores le proporcionan contra la entrada de materiales extraños. Mediante la asignación de diferentes códigos numéricos, el grado de protección del cuadro puede ser identificado de manera rápida y con facilidad.

De esta manera, las letras IPXX identifican al estándar (una antigua herencia de la terminología International Protection),

El primer dígito X, es numérico y describe el nivel de protección ante polvo.

El segundo dígito X, es numérico y describe el nivel de protección frente a líquidos (normalmente agua).

Como regla general se puede establecer que cuanto mayor es el grado de protección IPXX, más protegido está el equipamiento.

### 3. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES

#### 3.1. LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

##### 3.1.1. Localización Geográfica

La Planta de azúcar estará localizada en los terrenos de Azucarera, An AB Sugar Company, situado en la Planta de Jerez, en el Polígono Industrial El Portal, 150 11408 Jerez de la Frontera. Cádiz

##### 3.1.2. Plano de situación y emplazamiento

El emplazamiento de la planta se sitúa en las coordenadas  $36^{\circ}65'$ ,  $-6^{\circ}.13'$  del terreno indicado en la figura 15.



**Figura 15. Emplazamiento de la planta de azúcar.**

### 3.1.3. Condiciones Ambientales

Exteriores:

Elevación aprox. sobre el nivel del mar:	510 msnm
Ambiente atmosférico:	Pulverulento
Temperatura media anual:	16,2 °C
Temperatura media máxima absoluta:	48 °C
Temperatura media mínima absoluta:	3,7 °C
Temperatura máxima de diseño:	50 °C
Temperatura mínima de diseño:	1 °C
Humedad relativa del aire:	45 %
Temperatura media de bulbo húmedo de diseño:	19,43 °C
Velocidad máxima de viento:	140 km/h
Cargas sísmicas:	<0,08g

Interiores:

Para los equipos que vayan en el interior de los edificios, las condiciones ambientales que se tendrán en cuenta serán las que aparecen en el apartado 5.1.1, para condiciones normales.

## 3.2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

La construcción total del CCM se verá condicionada a una armadura envolvente que conformará el tamaño total del armario. Esta envolvente debe diseñarse acorde unas pautas y normas de aplicación que se definen en el siguiente apartado.

### 3.2.1. Envolvente

Todos los elementos que componen el centro de control de motores, se montarán en el interior de una envolvente metálica según norma CEI-EN 61439 [5].

La envolvente del centro de control de motores poseerá el adecuado tratamiento anticorrosivo y tendrá un acabado a base de pintura de un color a definir por valores RAL.

La envolvente del centro de control de motores estará prevista para recibir los cableados externos por su parte inferior.

La envolvente de los centros de control de motores estará dividida en diferentes compartimentos funcionales.

Estos compartimentos estarán separados unos de otros de acuerdo con la forma 3b y los elementos de separación estarán realizados con piezas de chapa de acero electro galvanizadas, sin pintura de acabado.

Todas las partes metálicas móviles y de estructura dispondrán de elementos que aseguren la continuidad de la puesta a tierra. Estos elementos serán de cobre flexible y favorecerán el efecto pelicular de las corrientes parásitas de alta frecuencia.

El conjunto envolvente - aparellaje de los centros de control de motores cumplirán con la categoría A fijada por la norma EN 55011 [5] con respecto a emisiones electromagnéticas.

Los centros de control de motores poseerán un compartimento de cableado en el cual se dispondrán las bornas de potencia y mando, de forma que no se interfieran unas con otras y se facilite la labor de cableado externo de los elementos.

Este canal de cableado tendrá un ancho mínimo de 300 mm. y podrá estar situado en el lateral o en la parte posterior de cada columna de cubículos.

Estos compartimentos, poseerán los adecuados elementos para la fijación de los conductores que se tenderán en su interior, así como derivaciones del embarrado principal de tierra para la conexión de los conductores de protección de los motores a la misma.

En la parte superior de la envolvente del centro de control de motores se dispondrá un compartimento para el paso de conductores, en la que se dispondrán dos canalizaciones separadas. En una canalización se tenderán los conductores de alimentación de la tensión de mando y en el otro se tenderá el conductor del bus de campo.

En los centros de control de motores se dispondrá una columna para el interruptor general de alimentación al centro. Esta columna poseerá un espacio para la instalación del material auxiliar del centro de control de motores, tal como transformador de mando, interruptores automáticos, etc.

En la parte inferior del centro de control de motores, se dispondrá un zócalo integrado, que permita que toda la envolvente sea fijada al suelo mediante tornillería.

Cada columna o panel tendrá una estructura fabricada en perfiles de hierro o chapas reforzadas, preferentemente soldada, para formar una unidad compacta, de forma que el conjunto resista sin deformarse los esfuerzos máximos previstos y sin que se transmitan vibraciones.

Será lo suficientemente robusta como para impedir que la eventual deformación originada en una cabina o cubículo se propague a las adyacentes. Igualmente permitirá la introducción o extracción de los elementos de corte o carros sin que se produzcan deformaciones ni vibraciones.

Sin que se produzcan roturas o deformaciones permanentes de la estructura mecánica o deterioro de los circuitos eléctricos fijos, será posible:

- La elevación por medio de cáncamos de suspensión que se dispondrán en cada unidad de transporte.
- El desplazamiento sobre rodillos de las varias secciones transportadas, para la colocación y ensamblaje del cuadro en el interior de la subestación.

La chapa o los perfiles de cada columna llevarán en la base unos taladros para el anclaje del cuadro al pavimento o a la bancada que oportunamente se disponga.

Las puertas de acceso a los distintos compartimentos (corte principal, bornas, relés, etc.) serán suficientemente robustas para soportar el peso de los aparatos fijados en ellas, sin que se produzca alabeos ni deformaciones con la puerta totalmente abierta. Las puertas dispondrán de dispositivos de cierre rápido, fácil y seguro, tipo manillón o similar, y llevarán una junta de neopreno o similar.

Los bloques de terminales para conexión de los cables de fuerza o control estarán situados como mínimo a 300 mm del suelo.

### **3.2.2. Grado de protección**

La envolvente externa del cuadro asegurará un grado de protección contra la introducción de cuerpos sólidos y agua igual a IP31 según Norma IEC [5].

Cuando los interruptores extraíbles o elementos funcionales estén en situación de seccionados o extraídos, se impedirá el contacto directo, no intencional, con las partes fijas en tensión.

Con la puerta abierta el grado de protección mínimo, contra contactos directos, será IP20.

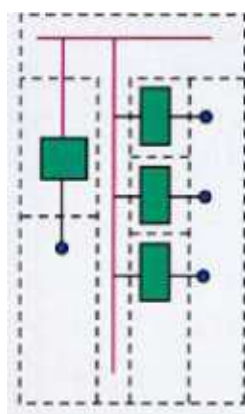
El fondo posterior, techo y zona de entrada de cables estarán completamente cerrados.

### 3.2.3. Índice de forma

El tipo de compartimentación del cuadro con respecto a las barras, unidades funcionales y bornes garantizará la protección contra contactos directos con un índice de forma 3b.

Este índice de forma consiste en la separación entre los juegos de barras de las unidades funcionales y separación entre todas las unidades funcionales. Hay separación de los bornes para los conductores externos de las unidades funcionales, pero no de aquellos de otras unidades funcionales.

Los bornes de los conductores externos separados de los juegos de barras.



Forma 3b

**Figura 16. Índice de forma 3b**

### 3.2.4. Composición

Los cuadros están formados por columnas o paneles autoportantes y divididos funcionalmente para obtener los siguientes compartimentos:

- De barras generales de distribución dispuestas horizontalmente.
- De barras verticales para derivaciones.
- De bornes para conductores externos.
- De todas las unidades funcionales.
- De remonte de barras.

El cuadro irá completamente montado de forma que en su emplazamiento solamente sea necesario ajustar el equipo y conectar los circuitos de entrada y salida de cables. Quedarán debidamente identificados los distintos cables de interconexión entre paneles, con los materiales auxiliares necesarios para su conexión.

### **3.2.5. Ampliaciones y/o modificaciones**

El cuadro se quedará preparado para ampliar por ambos extremos sin que se precise efectuar ninguna operación de corte, taladro o soldadura en la estructura del cuadro, las chapas del cerramiento lateral estarán atornilladas y las barras generales dispondrán en sus extremos de unos taladros rasgados para su prolongación.

Las celdas o cubículos que en la requisición del material se definan como “Reserva vacía” estarán equipadas con todos los elementos auxiliares fijos, como microinterruptores, guías, bloqueos mecánicos, etc.

También llevarán la parte fija del interruptor conectada a las barras generales, para evitar paradas en el momento de la ampliación.

Todos los elementos extraíbles del mismo tipo y prestaciones serán intercambiables entre sí.

### **3.2.6. Distancias mínimas de aislamiento**

Será la correspondiente a la tensión asignada soportada al impulso, para campo no homogéneo “Caso A” de la Norma IEC correspondiente [5].

### **3.2.7. Líneas de fuga mínima**

Será la correspondiente a la tensión asignada al impulso, para grado de contaminación 3 y considerando un grupo de material IIIa/IIIb, según la Norma IEC correspondiente [5].

### **3.2.8. Compatibilidad Electromagnética**

Cuando el cuadro incorpore aparataje electrónica, se deben satisfacer las exigencias de inmunidad y de emisión de la Norma IEC correspondiente [5].



### 3.3. ACCESIBILIDAD

Las acometidas se conectarán por cables. Se dispondrá una cámara de acceso a los terminales o embarrados con espacio suficiente para efectuar el amarre y conexión de los cables especificados de forma holgada. Será por la parte inferior o superior, debiendo quedar el terminal de conexión a una altura del suelo no inferior a 600 mm., con barras de cobre aisladas, adecuadas para montaje interior.

Las barras estarán aisladas y dimensionadas de acuerdo con las condiciones generales de esta especificación.

#### a) Entrada de cables

La entrada de cables de fuerza y control será por la parte inferior o superior, por el compartimento habilitado para tal fin, disponiéndose una chapa desmontable y partida, de forma que una vez conectados todos los cables sea fácilmente sellable el acceso para evitar entrada de roedores y/o protección contra el fuego.

#### **3.3.1. Para inspección u operaciones**

Todos los equipos del cuadro deberán ser accesibles para su verificación, desmontaje y/o montaje por mantenimiento, sin interferir con otros equipos próximos en tensión, o con obstáculos en función de la ubicación que se indique. El acceso al CCM será siempre por la parte frontal.

El acceso a los elementos de corte principal y protecciones en los cuadros de potencia, así como a los cajones extraíbles, compartimentos de entrada, remonte de cables y bornas de conexión del cuadro, será mediante puertas individuales abisagradas a la armadura o bastidor.

Las barras generales y conexiones eléctricas situadas en las partes fijas que no requieren intervenciones habituales de operación serán accesibles mediante chapas fijadas a la estructura. Si el acceso para posibles termografiados está cerrado mediante chapas atornilladas para impedir el contacto directo con elementos en tensión, se instalará una pantalla enrejillada para realizar la termografía. No se admite la utilización de pantallas de metacrilato por la distorsión que produce en los resultados.

Con el cuadro en servicio y bajo tensión podrán realizarse las siguientes operaciones:

- Inspección visual de los aparatos de conexión y otros aparatos, de las regulaciones e indicaciones de relés y desconectores, la conexión de los conductores y de las marcas.

- Regulación y rearme de relés.
- Reposición de fusibles y lámparas de señalización.
- Localización de defectos.
- Mando eléctrico de elementos de corte.
- Mando mecánico de cierre y apertura de elementos de corte.

### **3.3.2. Para el mantenimiento**

Estará permitido efectuar ciertas operaciones de mantenimiento en una unidad o grupo funcional, mientras las adyacentes están bajo tensión, y tomando ciertas medidas de seguridad:

- Termografiado de barras y conexiones.
- Seccionamiento y extracción o inserción de elementos de corte extraíbles.
- Inspección en servicio de los aparatos de protección, mando, señalización y medida con la puerta abierta.

### **3.3.3. Para ampliaciones bajo tensión**

Será posible efectuar las siguientes operaciones:

- Incorporar unidades extraíbles, cuando esté previsto o bien sea posible por diseño.
- Conectar cables exteriores.
- Realizar o modificar cableados de control.

### 3.4. BARRAS COLECTORAS Y DERIVACIONES

A la salida del interruptor general se dispondrá un embarrado de cobre electrolítico para el reparto de potencia a los elementos que componen el centro de control de motores.

#### 3.4.1. Embarrado de potencia

El embarrado de potencia estará compuesto por tres conjuntos de barras, un conjunto por cada fase, de cobre electrolítico, y adecuados en toda su longitud para servicio continuo y tiempo de cortocircuito que se especifique.

En función de la intensidad nominal del centro de control de motores se calcula el tamaño del embarrado por cada fase, aplicando los coeficientes correctores definidos según la norma CEI-EN 61439 [5].

Para el presente proyecto hemos considerado la siguiente tabla de fabricante en la que podemos elegir el tamaño y cantidad de barras por fase de acuerdo a la intensidad nominal. Estas dimensiones serán el dato de partida para nuestros cálculos de la intensidad de cortocircuito del CCM.

Embarrado Principal (mm)	IP31					IP42/54				
	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C
2 bars 40 x 10	1900 A	1840 A	1780 A	1720 A	1670 A	1780 A	1720 A	1670 A	1610 A	1560 A
3 bars 40 x 10	2520 A	2440 A	2360 A	2290 A	2210 A	2360 A	2280 A	2210 A	2140 A	2070 A
4 bars 40 x 10	3200 A	2100 A	3000 A	2910 A	2810 A	3000 A	2910 A	2820 A	2730 A	2640 A
6 bars 40 x 10	4050 A	3920 A	3800 A	3680 A	3560 A	3800 A	3680 A	3570 A	3450 A	3340 A

**Tabla 2. Elección de embarrado principal según intensidad nominal. Tomada y modificada de [11]**

El embarrado de potencia estará soportado por elementos aislantes adecuados al tamaño y la forma de las barras utilizadas, y colocados de forma que aseguren la suficiente resistencia a los esfuerzos electrodinámicos previstos.

Las barras de cobre tendrán un recubrimiento superficial conductor que proteja al cobre de procesos de degradación.

El embarrado de potencia del centro de control de motores, recorrerá toda la longitud del mismo sin reducción de la sección y estará montado en la parte superior central de la envolvente, nunca en la parte inferior.

Perpendicularmente a este embarrado se dispondrá un embarrado de distribución vertical en cada columna, el cual proporcionará alimentación de potencia a los distintos cubículos o cajones.

Este embarrado de derivación será de forma rectangular. Las barras verticales deberán ser del mismo material y recubrimiento que las barras principales.

En función de la intensidad nominal máxima permitida por cada columna, se dimensionará el embarrado de derivación de acuerdo con los coeficientes de reducción previstos en la norma CEI-EN 61439 [5].

El embarrado de derivación estará soportado por elementos aislantes adecuados al tamaño y la forma de las barras utilizadas, a la tensión de servicio y colocados de forma que aseguren la suficiente resistencia a los esfuerzos electrodinámicos previstos.

El embarrado de potencia y el embarrado de derivación de los centros de control de motores tendrán un grado de protección IP – 20 como mínimo. El fabricante asegurará que con las puertas completamente abiertas, los embarrados conserven el grado de protección IP – 20.

#### **3.4.2. Embarrado de neutro**

En los centros de control de motores, se instalará un embarrado de neutro, el cual no se distribuirá por toda la longitud del CCM, es decir en el módulo de entrada, se instalará un interruptor de cuatro polos y a la salida del mismo se montará un embarrado de neutro, el cual se quedará en el módulo de entrada.

El embarrado de neutro estará compuesto por un conjunto de barras de cobre electrolítico; las barras de cobre serán rectangulares y de unas dimensiones dadas por el fabricante Schneider Electric [11].

En función de la intensidad nominal del centro de control de motores se calcula el tamaño del embarrado de neutro, aplicando los coeficientes correctores definidos según la norma CEI-EN 61439 [5].

En el apartado de cálculos se pondrá el tamaño de las barras con el que realizaremos el cálculo de la intensidad de cortocircuito.

El embarrado de neutro estará soportado por elementos aislantes adecuados al tamaño y la forma de las barras utilizadas, a la tensión de servicio y colocados de forma que aseguren la suficiente resistencia a los esfuerzos electrodinámicos previstos.

Las barras de cobre tendrán un recubrimiento superficial conductor que proteja al cobre de procesos de degradación.

#### **3.4.3. Embarrado de tierra**

En la parte superior de la envolvente del centro de control de motores se instalará un embarrado de tierra realizado con un conjunto de barras rectangulares de cobre electrolítico, de sección igual a la utilizada para el embarrado de potencia.

El embarrado de tierra del centro de control de motores estará soportado por elementos aislantes, adecuados al tamaño de las barras utilizadas y colocados de forma que aseguren la suficiente resistencia a los esfuerzos electrodinámicos previstos.

Las barras de cobre tendrán un recubrimiento superficial conductor que proteja al cobre de procesos de degradación.

Las barras de cobre del embarrado de tierra, estarán mecanizadas con agujeros pasantes roscados para realizar las adecuadas conexiones de los elementos que componen el centro de control de motores. Se preverá el mecanizado de un 35 % de agujeros de reserva.

A este embarrado de tierra se conectará el conductor de tierra general que asegure la continuidad de este embarrado con la puesta a tierra general de baja tensión y los distintos conductores de tierra de los elementos que componen el centro de control de motores.

En los puntos de conexión de los conductores de alimentación a motores se montará una derivación del embarrado principal de tierra, de forma que sea fácilmente conectable el conductor de tierra del servicio determinado.

El embarrado principal de tierra estará perfectamente identificado como tal, bien sea mediante pintura o rótulos con el símbolo de tierra, o ambas cosas.

## 4. CÁLCULOS

### 4.1. OBJETIVO DE LOS CÁLCULOS.

En la presente sección se tiene por objeto explicar el cálculo de las corrientes de cortocircuito en el caso de un defecto trifásico, teniendo como datos de partida un determinado Juego de Barras -JdBH- con unas dimensiones y características dadas, calcular, a su vez, la fuerza máxima asociada a este embarrado trifásico y aplicar estos estudios en el diseño, elección y dimensionado del Centro de Control de Motores como objeto final del presente proyecto.

La intensidad de cortocircuito calculada nos servirá para la elección de la aparamenta según su poder de corte, y el cálculo posterior de los esfuerzos electrodinámicos asociados a esta intensidad nos servirá para dimensionar los soportes de las barras conductoras de cobre del CCM. Con estos elementos definidos, se diseñará el armazón envolvente del cuadro y, por tanto, el tamaño completo del CCM.

En el momento de un cortocircuito entre los diferentes conductores de una instalación de BT, ya sean conductores macizos de tipo barra, cables... pueden aparecer altísimas corrientes que generan unas fuerzas considerables de varios miles de daN/m.

Por tanto, el cálculo de estas fuerzas es necesario para dimensionar mecánicamente los conductores en sí mismos y las estructuras que los soporten, para que resistan cualesquier esfuerzo, con independencia de cuales sean las protecciones situadas aguas arriba y abajo, teniendo en cuenta que las normas exigen ensayos de resistencia electrodinámica de una duración de un segundo.

Para calcular de manera exacta los esfuerzos electrodinámicos, teniendo en cuenta la forma de los conductores y de las estructuras asociadas, se puede hacer uso de aproximaciones que permiten obtener resultados válidos a partir de fórmulas simples.

Este proyecto tratará el caso de juegos de barras en cuadros, en los que se aplicará el uso de cálculos sobre esfuerzos electrodinámicos en geometrías simples.

A continuación se realizará un resumen teórico para explicar el origen de las intensidades de cortocircuito y el origen de las fuerzas electrodinámicas. Y después se aplicará esta teoría en las siguientes secciones de cálculo con los datos de partida de la instalación objeto de este proyecto.

#### 4.2. ORIGEN DE LOS ESFUERZOS ELECTRODINÁMICOS.

El objeto del presente capítulo es determinar una síntesis para dar solución a la problemática de calcular la resistencia a los esfuerzos electrodinámicos dependiendo de la configuración de los conductores.

Para el cálculo de los esfuerzos se deben tener en cuenta las siguientes observaciones iniciales [15]:

- ✓ En todas las fórmulas interviene el producto de las intensidades  $I_1 \cdot I_2$  que circulan por cada uno de los dos conductores, reaccionando el uno sobre el otro. En el caso de que sus valores sean idénticos, este producto se sustituye por el término  $I_2$ . Las intensidades que aparecen en las fórmulas corresponden al valor de cresta de las corrientes que circulan por cada uno de los conductores. Ahora bien, los valores que se usan normalmente son los valores eficaces  $I_{ef}$ ; para ello la intensidad de cresta debe multiplicarse por un coeficiente que se definirá más adelante.
- ✓ Las fuerzas se expresan en valor absoluto, sin precisar su dirección, que depende del sentido de los campos y las corrientes. Lo normal es que se expresen como fuerza por unidad de longitud.
- ✓ Los conductores serán de materiales amagnéticos y suficientemente alejados de cualquier elemento magnético susceptible de modificar la distribución del campo magnético que ellos crean, y no se tendrán en cuenta los fenómenos de efecto pelicular y de proximidad, que puedan modificar sensiblemente la repartición de la corriente en el interior de los conductores macizos.
- ✓ El origen y las fórmulas que se emplearán para el cálculo de los esfuerzos están directamente asociados a las teorías y experimentos de las acciones mutuas entre dos elementos de corriente o entre un campo magnético y una corriente eléctrica. El sentido de los esfuerzos electrodinámicos podrá ser de repulsión, si las corrientes en los conductores circulan en sentidos opuestos y de atracción, en caso contrario, y sus valores se obtienen por la aplicación de las leyes del magnetismo.

En el presente proyecto se presentarán los dos principales métodos de cálculo de los esfuerzos electrodinámicos; el primer método utilizará la ley de Biot y Savart o la de Ampère en conjunción con la ley de Laplace, y el segundo método, utilizará el teorema de Maxwell.

Los resultados del uso de cada uno de estos métodos pueden diferir ligeramente debido a que las hipótesis de partida no son las mismas. El primer método consiste en calcular el campo magnético creado por una corriente eléctrica en un punto del espacio, deduciendo después la fuerza resultante ejercida sobre un conductor colocado en dicho punto y recorrido por una corriente eléctrica (eventualmente diferente a la primera). El segundo método está basado sobre el cálculo de la variación de energía potencial de un circuito; utiliza el teorema de Maxwell.

A continuación, se realizará un breve resumen con las leyes y teoremas a emplear. Y tras el recordatorio de estas cuatro leyes, el siguiente paso será decidir según el sistema de conductores considerado, qué fórmulas utilizar. Para el cálculo del campo podemos elegir entre la ley de Biot y Savart o bien el teorema de Ampère. Y para el cálculo del esfuerzo electrodinámico, podemos recurrir a la ley de Laplace. O bien utilizar el teorema de Maxwell para ambos cálculos.

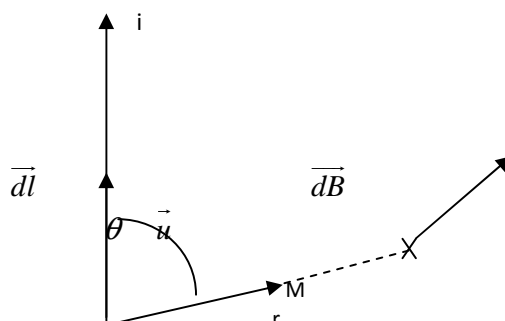
#### 4.2.1. Ley de Biot y Savart

Cada elemento de un circuito recorrido por una corriente  $i$ , de una longitud  $d\vec{l}$ , produce, en un punto M, un campo  $d\vec{B}$ , tal que [15]:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} i \frac{d\vec{l} \wedge \vec{u}}{r^2}$$

Donde  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del vacío, y  $\vec{u}$  es un vector unitario.

Este campo es perpendicular al plano definido por el elemento  $d\vec{l}$  y que contiene el punto P y el punto M, orientado hacia la izquierda de un observador colocado sobre el elemento, con su mirada dirigida hacia el punto M y circulándole la corriente desde sus pies hacia su cabeza (regla de Ampère), de módulo  $|dB|$ , siendo  $\vec{u}$  el vector director de  $\overrightarrow{PM}$ .





P

#### 4.2.2. Teorema de Ampère

Deducido de la fórmula de Biot y Savart, podemos enunciar que [16]:

Entre dos conductores paralelos por los que circulan corrientes en igual sentido se genera una fuerza de atracción, que intenta unirlos. Si las corrientes tienen sentido opuesto la fuerza es de repulsión e intenta separarlos. La fuerza ejercida es proporcional a las intensidades de las corrientes y a la longitud del enfrentamiento de ambos conductores.

Sea  $i$  la intensidad que recorre un conductor que atraviesa una superficie cualquiera de perímetro  $C$ , la circulación del campo magnético a lo largo de  $C$  viene dada por la ecuación:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot i$$

#### 4.2.3. Ley de Laplace

Cuando un circuito recorrido por una corriente de intensidad  $i$ , está situado en un campo magnético  $\vec{B}$ , cada elemento  $d\vec{l}$ , del circuito queda sometido a una fuerza [15]:

$$d\vec{f} = i \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

Cuando  $\vec{B}$  tiene por origen un circuito eléctrico, la ley aplicada a cada uno de los campos, muestra el esfuerzo que se ejerce entre ellos:

$$d\vec{f} = i \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}_2 = i_2 \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}_1$$

#### 4.2.4. Teorema de Maxwell

El trabajo de los esfuerzos electromagnéticos, ejercido durante el desplazamiento de un conductor indeformable, recorrido por una corriente constante y colocado en el seno de un campo magnético, tiene la expresión [15]:

$w = i \cdot \phi$ , donde  $\phi$  es el flujo del campo magnético abarcado durante el desplazamiento.

Expresada esta fórmula en su forma elemental de trabajo, permite obtener fácilmente las componentes  $F_x$ ,  $F_y$  y  $F_z$  de la resultante  $\vec{F}$  de las fuerzas electromagnéticas:

---

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

$dw = i \cdot d\phi = \int d\vec{f} \cdot d\vec{l} = \vec{F} \cdot d\vec{l}$ , de donde:

$F_x = i \cdot \frac{\delta\phi}{\delta x}$ , y lo mismo para  $F_y$  y  $F_z$ .

#### 4.2.5. Fuerza entre dos corrientes rectilíneas indefinidas

En el presente proyecto, para el cálculo inicial de los esfuerzos electrodinámicos en una geometría simple, se ha optado por el uso de la Ley de Biot y Savart en la que se especifica que si suponemos los conductores como circuitos filiformes, de longitud  $dl$  recorrido por una corriente  $i$ , crea una contribución elemental de campo magnético,  $d\vec{B}$ , en el punto situado en la posición que apunta el vector  $\vec{u}$  a una distancia  $r$  respecto de  $dl$ , quien apunta en dirección a la corriente  $i$  [14]:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} i \frac{d\vec{l} \wedge \vec{u}}{r^2}$$

Y en conjunción con la ley de Laplace:

$$d\vec{f} = i \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

Obtenemos la fórmula clásica de los esfuerzos electrodinámicos:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{l}{d}$$

Si aportamos los esfuerzos en N/m, y tenemos en cuenta que para el presente proyecto las barras de cobre tendrán que soportar la circulación de la misma Intensidad de cresta de cortocircuito, podemos reducir la fórmula anterior por:

$$F / l = km \cdot \frac{i^2}{d} [N / m]$$

Siendo  $km = \frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-7}$  la constante magnética.

Siendo  $d$  en metros la distancia entre los ejes de los conductores.

La hipótesis de partida para que esta fórmula sea válida para el cálculo de los esfuerzos electrodinámicos es considerar que los conductores son hilos lineales cuya sección se podría considerar un punto. Para dimensionar mejor esta hipótesis de partida, se podría considerar que esta condición es válida para aquellos conductores cuya longitud sea al menos 15 ó 20 veces mayor que su sección.

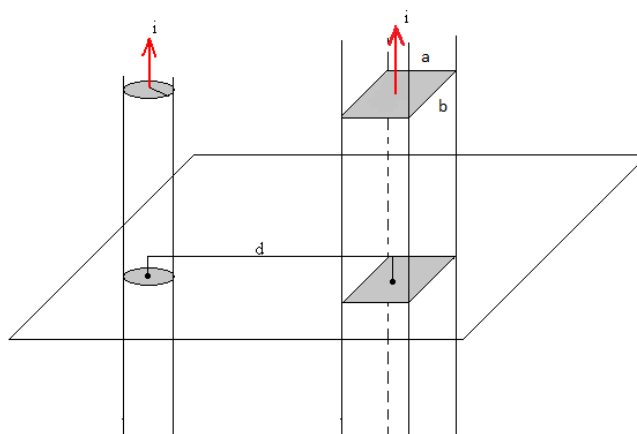
Teniendo en cuenta que las barras del Juego de Barras Principal (Horizontal) a emplear en nuestro cuadro eléctrico tendrán una sección de  $S = 40 \times 10 \text{ mm}^2$  y longitud  $l = 1.100 \text{ mm}$  con  $n = 3$  barras por fase.

Debemos tener en cuenta, por tanto, que la fórmula inicial no podrá ser aplicable sin antes introducir el factor de corrección necesario. En este caso, la influencia de la forma del conductor se puede determinar considerando la sección del conductor como una superposición de líneas de corriente que interactúan entre ellas. En el presente proyecto se ha efectuado esta aproximación para el caso de un conductor de sección rectangular.

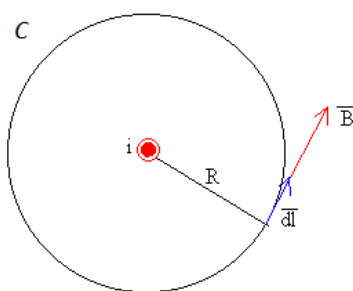
#### **4.2.6. Fuerza ejercida sobre un conductor de sección rectangular**

En este apartado se pretende demostrar la necesidad de un parámetro factor de corrección en la fuerza ejercida por un campo producido por una corriente rectilínea, sobre un conductor con sección rectangular de dimensiones  $a \times b$  y situado a una distancia  $d$  de dicho campo [15].

Como vimos en la Ley de Ampère, cuando las corrientes circulan en el mismo sentido, la fuerza es atractiva y cuando las corrientes circulan en sentido contrario la fuerza es repulsiva. El presente cálculo tiene como base la suposición que el radio de la sección de las corrientes es muy pequeño comparado con la distancia  $d$  de separación entre las mismas. Más tarde aplicaremos los datos del proyecto en donde se demuestra el cumplimiento de esta suposición.



En primer lugar vamos a identificar el módulo del campo producido por una corriente rectilínea indefinida  $i$ , para distancias mayores que el radio de la sección circular.



La dirección del campo en un punto  $P$ , es perpendicular al plano determinado por la corriente y el punto.

El campo magnético  $B$  es tangente a la circunferencia de radio  $r$ , paralelo al vector  $d\mathbf{l}$ .

El módulo del campo magnético  $B$  tiene el mismo valor en todos los puntos de dicha circunferencia.

Según la ley de Ampère; sea  $i$  la intensidad que recorre un conductor que atraviesa una superficie cualquiera de perímetro  $C$ , la circulación del campo magnético a lo largo de  $C$  viene dada por la ecuación:

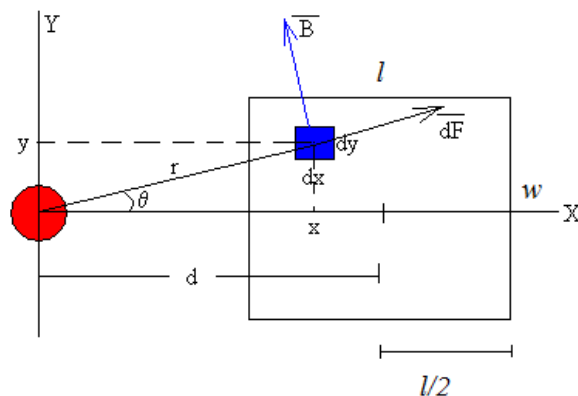
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \oint B \cdot dl \cos 0^\circ = B \oint dl = B \cdot 2\pi R$$

- La corriente rectilínea  $i$  atraviesa la circunferencia de radio  $r$ .
- Cuyo módulo del campo magnético  $B$  será.

$$B \cdot 2\pi R = \mu_0 i \quad B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

En el siguiente paso, vamos a calcular la fuerza que ejerce dicho campo sobre una corriente rectilínea indefinida de sección rectangular de dimensiones  $l$  (*largo*) x  $w$  (*ancho*), situado a una distancia  $d$ .

Primero calculamos la fuerza que dicho campo ejerce sobre un elemento de corriente de dimensiones  $dx$  y  $dy$ .



La intensidad  $i$  está uniformemente distribuida en toda la sección rectangular del conductor, y esta corriente que circula por dicha sección  $dx dy$ , es:

$$i \frac{dx \cdot dy}{w \cdot l}$$

La fuerza sobre el conductor de corriente rectilínea indefinida de longitud  $L$  será:

$$dF = i \frac{dx \cdot dy}{w \cdot l} (u_t \times B) L$$

Cuya dirección será radial, el sentido dependiente del sentido de las corrientes (ley de Ampère) y el módulo se define por la fórmula:

$$dF = i \frac{dx \cdot dy}{w \cdot l} \frac{\mu_0 i}{2\pi r} L$$

Las componentes de dicha fuerza son:

$$\begin{aligned}dF_x &= dF \cos \vartheta \\dF_y &= dF \sin \vartheta\end{aligned}$$

Por simetría, las componentes  $dF_y$  se anulan de dos en dos, la fuerza resultante tiene la dirección del eje X.

$$dF_x = i \frac{dx \cdot dy}{w \cdot l} \frac{\mu_0 i}{2\pi r} L \cos \theta = \left( \frac{\mu_0 Li^2}{2\pi} \right) \frac{1}{w \cdot l} \frac{dx \cdot dy}{\sqrt{x^2 + y^2}} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \left( \frac{\mu_0 Li^2}{2\pi d} \right) \frac{d}{w \cdot l} \frac{x \cdot dx \cdot dy}{x^2 + y^2}$$

El término ente paréntesis, como ya vimos, corresponde a la fuerza entre dos corrientes rectilíneas indefinidas paralelas que distan  $d$ .

Para calcular la fuerza resultante  $F_x$  tendremos que calcular una integral doble:

$$F_x = \left( \frac{\mu_0 Li^2}{2\pi d} \right) \frac{d}{w \cdot l} \int_{-w/2}^{w/2} dy \int_{d-l/2}^{d+l/2} \frac{x \cdot dx}{x^2 + y^2}$$

La integral con respecto a x es inmediata:

$$\int_{d-l/2}^{d+l/2} \frac{x \cdot dx}{x^2 + y^2} = \frac{1}{2} \ln(x^2 + y^2) \Big|_{d-l/2}^{d+l/2} = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{(d+l/2)^2 + y^2}{(d-l/2)^2 + y^2} \right)$$

Ahora, tenemos que resolver la integral:

$$\frac{1}{2} \int_{-w/2}^{w/2} \ln \left( \frac{(d+l/2)^2 + y^2}{(d-l/2)^2 + y^2} \right) dy$$

Integramos por partes:

$$u = \ln \left( \frac{a^2 + y^2}{b^2 + y^2} \right) \quad du = \frac{2y(b^2 - a^2)}{(b^2 + y^2)(a^2 + y^2)}$$

$$dv = dx$$

$$v = x$$

$$\int \ln\left(\frac{a^2 + y^2}{b^2 + y^2}\right) \cdot dy = y \ln\left(\frac{a^2 + y^2}{b^2 + y^2}\right) - \int \frac{2y^2(b^2 - a^2)}{(b^2 + y^2)(a^2 + y^2)} \cdot dx$$

Descomponemos la integral racional en la suma de dos integrales, del siguiente modo

$$\frac{2y^2(b^2 - a^2)}{(b^2 + y^2)(a^2 + y^2)} = \frac{Ay + B}{(a^2 + y^2)} + \frac{Cy + D}{(b^2 + y^2)}$$

Resolvemos el sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas

$$A=0, C=0, B=-2a^2, D=2b^2$$

$$\int \ln\left(\frac{a^2 + y^2}{b^2 + y^2}\right) \cdot dy = y \ln\left(\frac{a^2 + y^2}{b^2 + y^2}\right) + \int \frac{2a^2}{(a^2 + y^2)} \cdot dy - \int \frac{2b^2}{(b^2 + y^2)} \cdot dy =$$

$$y \ln\left(\frac{a^2 + y^2}{b^2 + y^2}\right) + 2a \cdot \arctan\left(\frac{y}{a}\right) - 2b \cdot \arctan\left(\frac{y}{b}\right)$$

Una vez que tenemos la función, integrando calculamos el valor de la integral definida.

$$\frac{1}{2} \int_{-w/2}^{w/2} \ln\left(\frac{(d+l/2)^2 + y^2}{(d-l/2)^2 + y^2}\right) dy = \frac{1}{2} \left( y \ln\left(\frac{(d+l/2)^2 + y^2}{(d-l/2)^2 + y^2}\right) + 2(d+l/2) \cdot \arctan\left(\frac{y}{d+l/2}\right) - 2(d-l/2) \cdot \arctan\left(\frac{y}{d-l/2}\right) \right) \Bigg|_{-w/2}^{w/2} =$$

$$\frac{w}{2} \ln\left(\frac{d^2 + l^4/4 + w^4/4 + d \cdot l}{d^2 + l^4/4 + w^4/4 - d \cdot l}\right) + 2(d+l/2) \cdot \arctan\left(\frac{w}{2d+l}\right) - 2(d-l/2) \cdot \arctan\left(\frac{w}{2d-l}\right)$$

La fuerza resultante es

$$F_x = \left( \frac{\mu_0 L i^2}{2\pi d} \right) \frac{d}{l \cdot w} \left\{ \frac{w}{2} \ln \left( \frac{d^2 + l^4/4 + w^4/4 + d \cdot l}{d^2 + l^4/4 + w^4/4 - d \cdot l} \right) + (2d + l) \cdot \operatorname{acr} \tan \left( \frac{w}{2d + l} \right) - (2d - l) \cdot \operatorname{acr} \tan \left( \frac{w}{2d - l} \right) \right\}$$

Siendo  $k_f$ :

$$k_f = \frac{d}{l \cdot w} \left\{ \frac{w}{2} \ln \left( \frac{d^2 + l^4/4 + w^4/4 + d \cdot l}{d^2 + l^4/4 + w^4/4 - d \cdot l} \right) + (2d + l) \cdot \operatorname{acr} \tan \left( \frac{w}{2d + l} \right) - (2d - l) \cdot \operatorname{acr} \tan \left( \frac{w}{2d - l} \right) \right\}$$

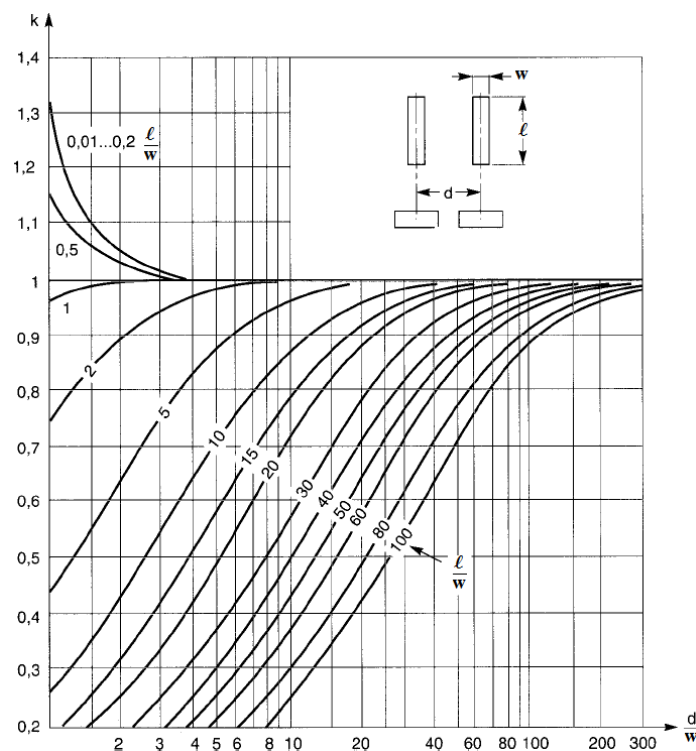
El resultado de este cálculo, demuestra que la fuerza de atracción entre dos corrientes rectilíneas, se ve afectada por un factor multiplicativo  $k_f$  que depende de las dimensiones ( $w$ ,  $l$ ) de la sección rectangular del conductor de la corriente y de su separación  $d$  de la corriente rectilínea que produce el campo magnético.

$$F_x = \left( \frac{\mu_0 L i^2}{2\pi d} \right) \cdot k_f$$

Sin embargo, para los cálculos reales del presente proyecto haremos uso del Ábaco de Dwight, el cual nos permite obtener los valores de los factores de corrección por la influencia de la forma del conductor, debido a la interacción entre barras de una misma fase como para la interacción entre barras de distinta fase.

La siguiente gráfica se corresponde a los esfuerzos soportados por dos barras paralelas durante un cortocircuito y nos muestra la variación de  $k$ , como la constante correctiva de la influencia de los conductores, en función de las magnitudes de los mismos.





**Figura 17. Variación de  $k$  en función de las razones  $l/w$  y  $d/w$  (ábaco de Dwight). Tomada y modificada de [15].**

Como se ha obtenido en las fórmulas anteriores, se puede afirmar que la fuerza electrodinámica es proporcional al cuadrado de la corriente, por lo que se hace indispensable el estudio de las corrientes de cortocircuito.

#### 4.3. ORIGEN DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO.

##### 4.3.1. Generalidades

[17] Una corriente de cortocircuito es una sobreintensidad producida por un fallo de impedancia despreciable, entre dos conductores activos que presentan una diferencia de potencial en condiciones normales de servicio.

Sus efectos pueden ser:

## TÉRMICOS

La corriente muy elevada produce calentamiento de los conductores por efecto Joule. En el cortocircuito, por su pequeña duración, el calor producido se utiliza exclusivamente en elevar la temperatura del conductor (que alcanza su temperatura máxima admisible en milisegundos) sin ceder calor al exterior, provocando la destrucción del conductor.

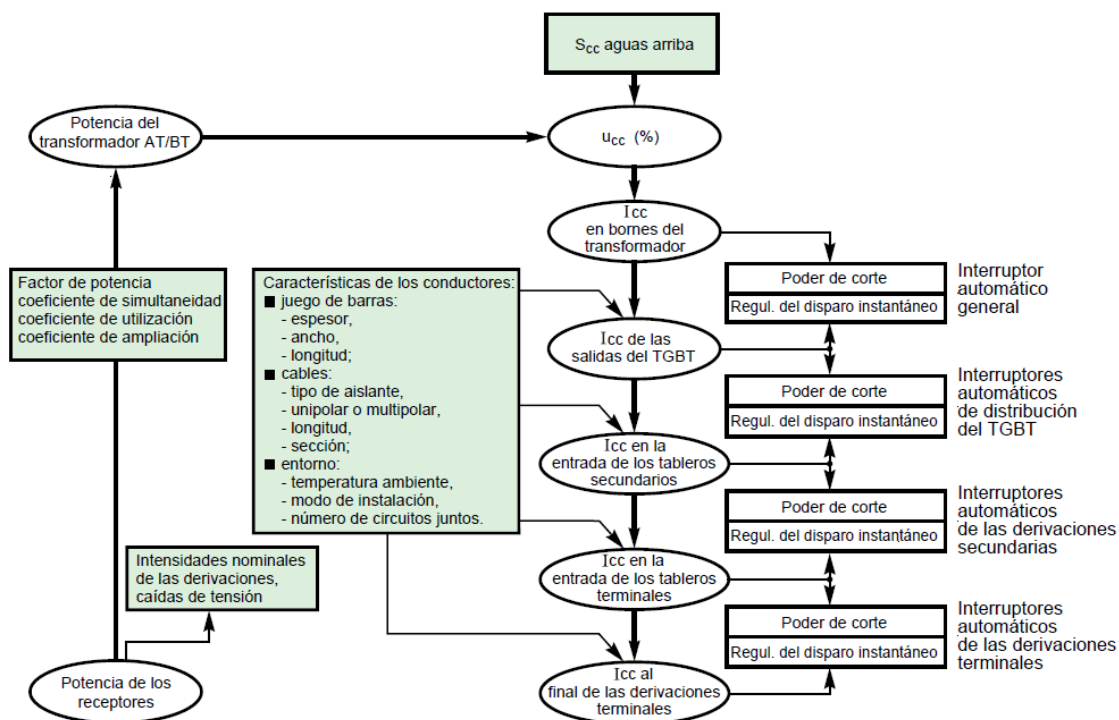
## ELECTRODINÁMICOS

Las fuerzas de atracción o repulsión que aparecen entre conductores por efecto del campo magnético creado a su alrededor por la corriente que los recorre, son directamente proporcionales al producto de esas corrientes e inversamente proporcionales a la distancia entre conductores. Las corrientes de cortocircuito, de valor muy elevado, hacen que estas fuerzas electrodinámicas sean también muy elevadas, pudiendo destruir las barras de conexión.

En el dimensionamiento de cualquier instalación eléctrica se debe tener en cuenta la protección contra los cortocircuitos y esto, salvo excepción, en cada punto que presenta una discontinuidad eléctrica. La intensidad de la corriente de cortocircuito debe calcularse para cada uno de los diversos niveles de la instalación para poder determinar las características de los componentes que deberán soportar o cortar la corriente de defecto.

Esta corriente de cortocircuito se calcula con el fin de definir el mínimo valor de capacidad de ruptura que deberán tener los componentes involucrados en la falla de cortocircuito, para que sean capaces de soportarlos, y en el caso de las protecciones termomagnéticas y fusibles, ser capaces también de despejarlos.

En el siguiente flujo-grama se indica el proceso que hay que seguir para conocer las diferentes corrientes de cortocircuito y los parámetros que permiten realizar los cálculos para cada uno de los diferentes elementos de protección. Para elegir y regular convenientemente las protecciones se utilizan las curvas de intensidad en función del tiempo.



**Figura 18. Proceso de las corrientes de cortocircuito.**

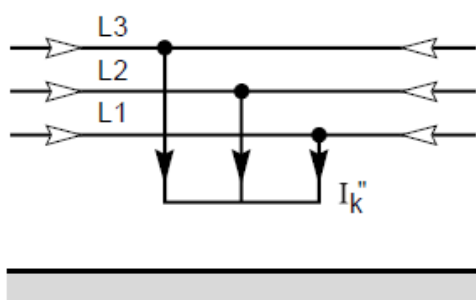
[17] Para los cálculos de las intensidades de cortocircuito a lo largo de toda una instalación, es igual de importante el dimensionamiento tanto del valor máximo de esta, como el mínimo.

La corriente máxima de cortocircuito determina:

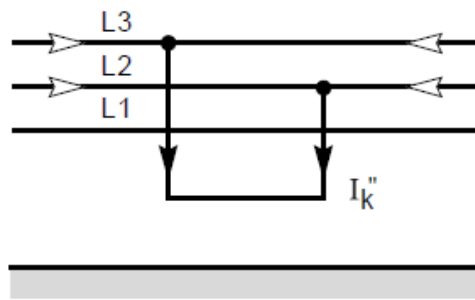
- el poder de corte -PdC- de los interruptores automáticos.
- el poder de cierre de los dispositivos de maniobra.
- la sollicitación electrodinámica de conductores y componentes.

La corriente mínima de cortocircuito, es indispensable para elegir la curva de disparo de los interruptores automáticos y fusibles cuando:

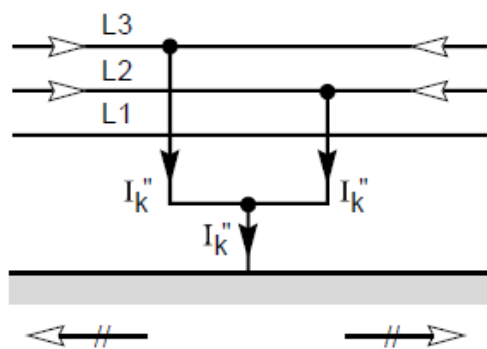
- la longitud de los cables es importante y/o la fuente o generador es relativamente de alta impedancia.
- la protección de las personas se basa en el funcionamiento de los interruptores automáticos o de los fusibles, lo que es el caso concreto de los sistemas de distribución con los esquemas de conexión a tierra del neutro (o regímenes de neutro) TN o IT.



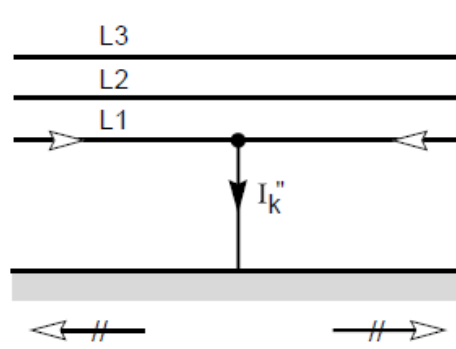
*Cortocircuito trifásico simétrico.*



*Cortocircuito entre fases, aislado*



*Cortocircuito entre fases, con puesta a tierra*



*Cortocircuito fase-tierra*

**Figura 19. Tipos de cortocircuito en un sistema trifásico**

#### 4.4. CÁLCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

El diseño y la estructura de una instalación eléctrica, así como los materiales y componentes que se incluirán en esta, precisan de un estudio minucioso de las corrientes de cortocircuito que circulan en cualquier punto de la red. El presente apartado pretende justificar el diseño del Centro de Control de Motores, así como la determinación de la protección de personas y bienes, realizando el cálculo de la Corriente de Cortocircuito rigiéndose a la norma CEI 60 909.

Entre los múltiples métodos de cálculo de las corrientes de cortocircuito, los más utilizados son el método de las componentes simétricas según la norma ANSI/IEEE, y el método de las impedancias regido por la norma europea IEC (IEC 909-1-2).

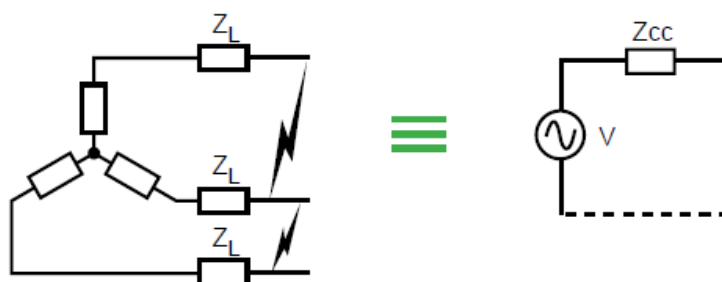
#### 4.4.1. Hipótesis de partida

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito será necesario realizar una serie de hipótesis que justifiquen la validez de las expresiones empleadas. Estas hipótesis introducen aproximaciones justificadas que hacen más comprensibles los fenómenos físicos y, por tanto, el cálculo de las corrientes de cortocircuito, pero siempre manteniendo una precisión aceptable.

Las hipótesis empleadas:

- la red considerada es radial y su tensión nominal está comprendida entre la BT y la AT (Sin rebasar los 230 kV, límite impuesto por la norma IEC 60909),
- la corriente de cortocircuito, al producirse un cortocircuito trifásico, se supone establecida simultáneamente en las tres fases,
- durante el cortocircuito, el número de fases afectadas no se modifica: un defecto trifásico sigue siendo trifásico y un defecto fase-tierra sigue siendo fase-tierra,
- durante todo el tiempo del cortocircuito, tanto las tensiones que han provocado la circulación de corriente como la impedancia de cortocircuito no varían de forma significativa,
- no se tienen en cuenta las resistencias del arco,
- se desprecian todas las capacidades de las líneas,
- se desprecian las corrientes de carga,
- se tienen en cuenta todas las impedancias homopolares.

#### 4.4.2. $I_{cc}$ para un defecto trifásico por el método de las impedancias



$$I_{cc} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{cc}}$$

El cortocircuito es una conexión de poca impedancia entre dos puntos entre los que existe una diferencia de potencial, dando lugar a una corriente de intensidad muy elevada.

Las causas del cortocircuito son principalmente fallos de aislamiento de la instalación o fallos en los receptores conectados, por avería o conexión incorrecta.

En el caso de un cortocircuito trifásico el defecto se corresponde a la unión de las tres fases, siendo  $U$  la tensión compuesta entre fases y que corresponde a la tensión de vacío del transformador, cuyo valor es superior entre un 3% y 5% a la tensión en bornes de la carga. En nuestro caso, la red es de 400 V, por lo que la tensión compuesta será  $U = 420 \text{ V}$  y la tensión simple, por tanto, será  $U_{simple} = U/\sqrt{3} = 243 \text{ V}$ .

Por lo tanto, saber la corriente de cortocircuito se limita ahora en conocer la impedancia  $Z_{cc}$ . Esta impedancia corresponde a la impedancia equivalente a todas aquellas recorridas por  $I_{cc}$  desde el generador hasta el punto de fallo.

Calcularemos  $Z_{cc}$  como:

$$Z_{cc} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}$$

Siendo:

$\sum R$  = suma de todas las resistencias en serie

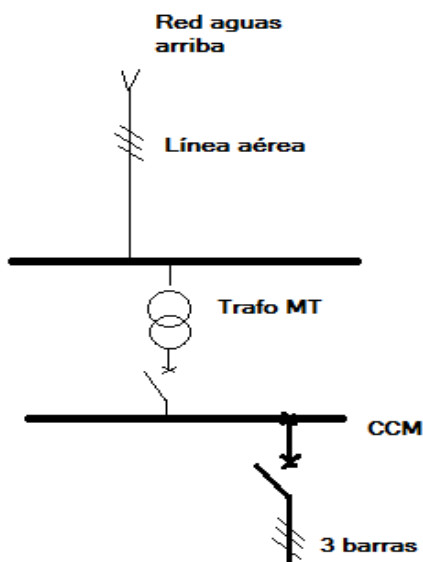
$\sum X$  = suma de todas las reactancias en serie

Los datos de partida para nuestro ejercicio del cálculo de la intensidad de cortocircuito en el presente proyecto se definen para la siguiente red:

La instalación de este proyecto consistirá en una red de 20kV, siendo 500MVA la potencia de cortocircuito en el punto de conexión a la red que alimentará, a través de una línea aérea compuesta por 3 cables de cobre, de  $50 \text{ mm}^2$  con una longitud de 2km, un centro de transformación de MT/BT con un transformador de 1800kVA y una tensión de cortocircuito del 5%, que a su vez alimentará al Juego de Barras -JdB- de BT que será el que incluiremos en el CCM objeto de este proyecto.

Partiremos de que nuestro cuadro eléctrico tendrá una sección de barras de  $S = 40 \times 10 \text{ mm}^2$  y longitud  $l = 1.100 \text{ mm}$  con  $n = 3$  barras por fase, para una intensidad nominal de 2080 A, según tabla del fabricante (véase tabla 2.). Teniendo en cuenta las

dimensiones del cuadro, consideraremos una distancia L desde el transformador de media tensión hasta la falla de defecto de 10 metros.



**Figura 20. Detalle de esquema unifilar**

#### **4.4.3. Cálculo de las impedancias de cortocircuito.**

La impedancia total se compondrá de la suma de todas las resistencias y reactancias del circuito del defecto, incluida la fuente de alimentación hasta el punto de fallo.

- Impedancia de la red:  
Impedancia de la red aguas arriba será:

$$Z_r = \frac{U_{red}^2}{S_{cc}}$$

Siendo  $S_{cc}$  la potencia de cortocircuito en el punto de conexión a la red y  $U$  la tensión de línea de la red en vacío, cuyos valores suministrados por la compañía distribuidora serán:

$$S_{cc} = 500 \text{ MVA}$$

$$U_{red} = 20 \text{ kV}$$

En AT la relación resistencia y reactancia se define como:

$$R_r / Z_r = 0,2 \text{ en } 20 \text{ kV y } X_r = \sqrt{Z_r^2 - R_r^2}$$

Por lo que calculando:

$$Z_r = \frac{20^2 \text{ kV}}{500 \text{ MVA}} = 0,8$$

$$\frac{X_r}{Z_r} = \sqrt{1 - \left(\frac{R_r}{Z_r}\right)^2}$$

Para 20 kV:

$$\frac{X_r}{Z_r} = \sqrt{1 - (0,2)^2} = 0,98 \quad X_r = 0,98 \cdot Z_r \text{ podemos considerar la aproximación } X_r \approx Z_r$$

$$X_r = 0,98 \cdot 0,8 = 0,78 \Omega$$

$$R_r = 0,2 \cdot Z_r = 0,156 \Omega$$

- Impedancia de la Red Aérea:

Considerando que la línea aérea estará compuesta por 3 cables de cobre, de 50 mm<sup>2</sup> con una longitud de 2km.

$$X_L = \left[ 15,7 + 144,44 \log \left( \frac{d}{r} \right) \right]$$

Siendo d la distancia entre los conductores y r el radio de los mismos.

Por lo que un valor medio para una línea de MT será:

$$X = 0,4 \Omega / km$$

Para 2 km:

$$X_L = 0,4 \cdot 2 = 0,8 \Omega$$

$$R_L = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

$$\rho = 0,018 \Omega mm^2 / m \text{ Resistividad del cobre}$$



$$R_L = 0,018 \cdot \frac{2000}{50} = 0,72\Omega$$

Por lo que los valores totales de reactancia y resistencia de la Red serán:

$$X_A = X_r + X_L \quad X_A = 0,78 + 0,8 = 1,58\Omega$$

$$R_A = R_r + R_L \quad R_A = 0,156 + 0,72 = 0,88\Omega$$

- Impedancia del Alternador:

La potencia aparente del alternador será de 1MVA y su impedancia, al tratarse de máquinas, se expresa bajo un valor del 15%.

$$Z_a = 15\% \cdot \frac{U_{red}}{S_n}$$

En valores pequeños de R/X, la impedancia y la reactancia se pueden aproximar por lo que:

$$X_a = 15\% \cdot \frac{20000^2}{10^6} = 60\Omega$$

$$R_a = 0,1 \cdot X_a \approx 6\Omega$$

- Impedancia interna del transformador:

Se calcula a partir de la tensión de cortocircuito  $U_{cc}$  expresada en %, la potencia aparente del transformador  $S_n$ , y la tensión de línea en vacío  $U$ :

$$Z_T = U_{cc} \cdot \frac{U^2}{S_n}$$

Para transformadores de distribución de MT/BT, las normas HD 428.1S1 fija los valores de  $U_{cc}$  en función de la potencia del transformador:

Siendo  $U_{cc} = 5\%$  para trafos de 1800 kVA.

Potencia  $S_n = 1800 \text{ kVA}$

$U = 400 \text{ V}$

Por lo tanto:

$$Z_T = \frac{5}{100} \cdot \frac{400V^2}{1800kVA} = 4,44 m\Omega$$

En general  $R_T \ll X_T$ , del orden de  $0,2 X_T$  y la impedancia interna de los transformadores puede igualarse a la reactancia  $X_T$  (para pequeñas potencias sería necesario el cálculo de  $Z_T$  ya que la relación  $R_T / X_T$  es mayor).

Por tanto:

$$X_T = Z_T = 4,44 m\Omega$$

Y según  $R_T / Z_T = 0,2$

$$R_T = 4,44 \cdot 0,2 = 0,89 m\Omega$$

- Impedancia de las líneas de BT

En nuestro caso tomaremos como línea el juego de barras de cobre [JdB] que alimentará a todo el CCM. La impedancia de la línea depende de sus componentes de resistencia  $R_L$  y reactancia  $X_L$  unitarias, y de su longitud  $L$  desde el transformador de media tensión hasta el defecto.

$$R_B = \frac{\rho}{S} \cdot L \qquad X_B = \left[ \frac{1}{2n} + 4,6 \text{Log} \left( \frac{d}{r} \right) \right] \cdot L$$

Siendo  $n$  número de barras por fase,  $d$  la distancia entre los conductores y  $r$  el radio de los mismos.

Partiremos de que nuestro cuadro eléctrico tendrá una sección de  $S = 40 \times 10 \text{ mm}^2$  y longitud  $l = 1.100 \text{ mm}$  con  $n = 3$  barras por fase. Teniendo en cuenta las dimensiones del cuadro, consideraremos una distancia  $L$  desde el transformador de media tensión hasta la falla de defecto de 10 metros.

Calculando:

$\rho = 0,0225 \Omega \text{mm}^2 / m$  Resistividad del cobre

$$R_B = \frac{0,0225}{3 \times 40 \times 10} = 0,0187 \text{ m}\Omega / m \cdot 10m = 0,187 \text{ m}\Omega \approx 0$$

El valor medio a aplicar para la reactancia en BT de una instalación de barras de cobre es de  $X_L \approx 0,15 \text{ m}\Omega / m$

Por tanto:

$$X_B = 0,15 \times 10^{-3} \times 10 = 1,5 \text{ m}\Omega$$

- Cálculo de la intensidad de cortocircuito:

Los valores anteriores formarán parte de los elementos a tener en cuenta para el cálculo del defecto en el CCM.

Resumiendo, los elementos implicados serán:

- La Red BT (Red aguas arriba + Línea aérea)  $Z_A$
- El transformador de MT  $Z_T$
- La Línea de los conductores de las barras de cobre del CCM  $Z_B$

Para el cálculo total, tendremos que tener en cuenta el efecto de la red de MT sobre la red de BT. Para ello tendremos que multiplicar las reactancias y resistencias por el cuadrado de la razón de las tensiones:

$$\left( \frac{U_e}{U_n} \right)^2 = \left( \frac{400}{20000} \right)^2 = 0,4 \cdot 10^{-3}$$

Por lo que:

$$X_C = \left[ (X_A \cdot 0,4) + X_T + X_B \right]$$

$$X_C = \left[ (1,58 \cdot 0,4) + 4,44 + 1,5 \right] \cdot 10^{-3} = 6,57 \text{ m}\Omega$$

$$R_C = \left[ (R_A \cdot 0,4) + R_T + R_B \right]$$

$$R_C = \left[ (0,88 \cdot 0,4) + 0,89 + 0,187 \right] \cdot 10^{-3} = 1,43 \text{ m}\Omega$$

La impedancia será:

$$Z_c = \sqrt{R_c + X_c}$$

$$Z_c = \sqrt{1,43^2 + 6,57^2} = 6,72 m\Omega$$

Luego:

$$I_c = \frac{U_e}{\sqrt{3} \cdot Z_c} \quad I_c = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6,72 \cdot 10^{-3}} = 34366 A$$

Por lo que la intensidad de cortocircuito será:

$$I_{cc} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_c$$

$$I_{cc} = 1,58 \cdot \sqrt{2} \cdot 34366 = 76790 A$$

Por lo que el diseño de la aparamenta y circuitos de protección de un CCM con una arquitectura de 3 barras por fase de sección  $S = 40 \times 10 mm^2$ , y una red de alimentación como la definida en los cálculos, deberán adecuarse a este valor que podríamos aproximar a **80kA**.

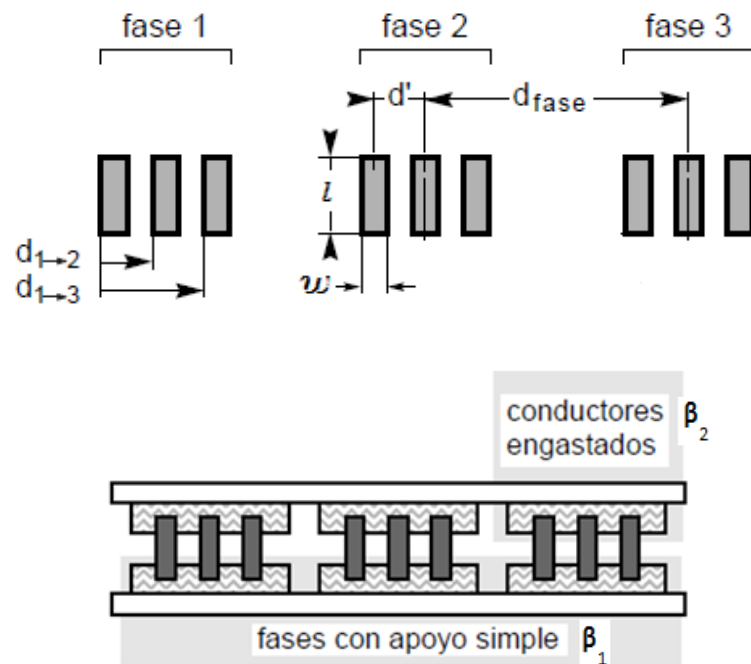
#### 4.5. CÁLCULOS DE LOS ESFUERZOS ELECTRODINÁMICOS Y DISTANCIA ENTRE SOPORTES

##### 4.5.1. *Cálculo de los esfuerzos electrodinámicos*

Ahora que tenemos definida la intensidad de cortocircuito podremos pasar a obtener el valor de los esfuerzos electrodinámicos de nuestro Juego de Barras.

Debemos tener en cuenta que el JdB trifásico se compone de tres barras de cobre conductoras y que cada una de ellas sufre, en un instante t, una fuerza que será la suma algebraica de las interacciones que tendrá con las otras dos barras, teniendo estas dos únicas posiciones; exterior o central [15].

Cada conductor de fase sufre un esfuerzo debido a las acciones entre fases y a las de otros conductores de la misma fase. La fuerza máxima se ejerce sobre los conductores externos de la fase central.



**Figura 21. Juego de Barras y sistema de soporte. Tomada y modificada de [15]**

**Recopilamos los datos de partida:**

- Juego de barras de 3 barras por fase con unas dimensiones de  $l=40\text{ mm} \times w=10\text{ mm}$
- Distancia entre barras de 10mm
- Distancia entre ejes de fase 70 mm.
- Con una intensidad de cortocircuito  $i_{cc} = 80\text{ kA}$
- Una distancia entre fases de  $d_f = 70\text{ mm}$

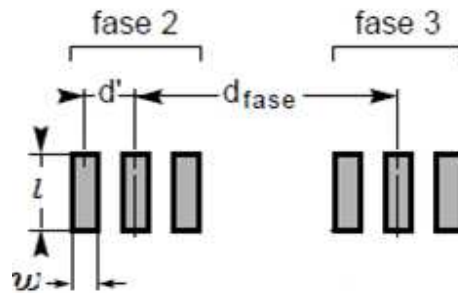
La fórmula obtenida en el punto 6 para los esfuerzos electrodinámicos es:

$$F_x = \left( \frac{\mu_0 L i_{cc}^2}{2\pi d} \right) \cdot k_f \Rightarrow F_x / L = \left( \frac{\mu_0 i_{cc}^2}{2\pi d} \right) \cdot k_f$$

- Como ya definimos según la teoría de Laplace, la constante magnética tendrá un valor:  $\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-7}$
- Multiplicaremos la intensidad de cortocircuito  $i_{cc}$  por 2.2 para obtener su valor de pico.
- El valor  $d$  será la distancia entre ejes de fases.
- Multiplicaremos por una cte= 0,87 al tratarse de un defecto trifásico.
- En el ábaco de Dwight miraremos el coeficiente  $K_f$

#### Esfuerzos entre fases:

$$\frac{F_l}{L} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot cte \cdot k_{f1} \cdot (2,2 \cdot i_{cc})^2}{d_f}$$

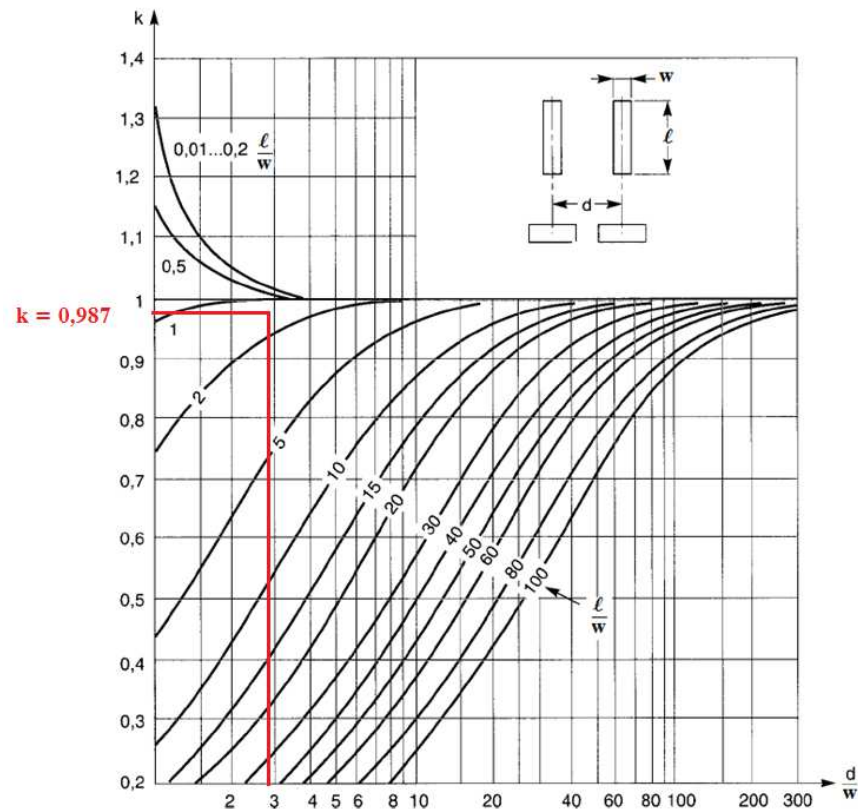


Siendo  $d_f = 70$  mm la distancia entre ejes de fase.

$K_f$  vendrá dada en la gráfica de la figura 19 según la función:

$$k_{f1} = \left( \frac{l}{(2n-1) \cdot w}, \frac{d_f}{(2n-1) \cdot w} \right) \Rightarrow k_{f1} = \left( \frac{40}{5 \cdot 5}, \frac{70}{5 \cdot 5} \right)$$

$$k_{f1} = \left( \frac{40}{5 \cdot 5}, \frac{70}{5 \cdot 5} \right) = (1.6, 2.8) \Rightarrow k_{f1} = 0.987$$



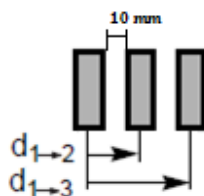
**Figura 22. Coeficiente  $k_1$  en función de  $w$  y  $l$**

$$F_1/L = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 0.87 \cdot 0.987 \cdot (2,2 \cdot 80 \cdot 10^3)^2}{70 \cdot 10^{-3}}$$

$$F_1/L = 75996.5 \text{ N/m}$$

**Esfuerzos entre las barras de una misma fase (central):**

Será el sumatorio de las fuerzas entre la primera barra y las otras dos, siendo  $i$  las barras 1, 2 ó 3. Y la distancia entre barras de 10mm. Por tanto:



$$F_2/L = \sum F_{2 \rightarrow i} / L (\text{N} / \text{m})$$

$$d_{1 \rightarrow 2} = 20 \text{ mm}$$

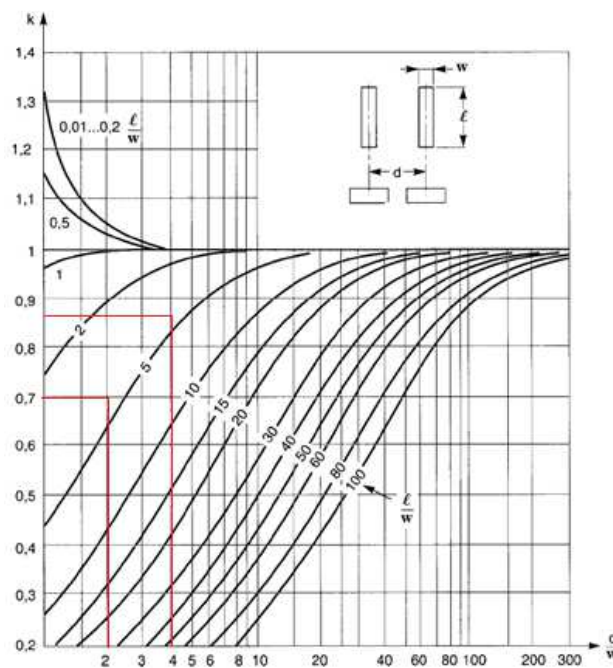
$$d_{1 \rightarrow 3} = 40 \text{ mm}$$

$$\frac{F_2}{L} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot k_{2_{f1,i}} \cdot (2,2 \cdot i_{cc} / n)^2}{d_{1 \rightarrow i}}$$

Según el ábaco de Dwight  $k_2$  será función de  $l/w$  y  $d_{1i}/w$ :

$$k_{2_{1 \rightarrow 2}} = \left( \frac{40}{10}, \frac{20}{10} \right) = (4, 2) \approx 0.700$$

$$k_{2_{1 \rightarrow 3}} = \left( \frac{40}{10}, \frac{40}{10} \right) = (4, 4) \approx 0.865$$



**Figura 23. Coeficiente  $k_2$  en función de  $w$  y  $l$**



Por lo que la fuerza total de la barra externa con respecto a las otras dos barras de su misma fase será:

$$F2 / L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot (2,2 \cdot 80 \cdot 10^3 / n)^2 \cdot [0,700 / 20 \cdot 10^{-3} + 0,865 / 40 \cdot 10^{-3}]$$

$$F2/L = 38978,38 \text{ N/m}$$

#### 4.5.2. Cálculo de la distancia entre soportes.

Los siguientes cálculos nos ayudarán a obtener la distancia máxima a la que deberán colocarse los soportes de barras **ds** a partir de las tensiones sobre el conductor más solicitado.

La fuerza máxima que soportará el conductor más solicitado será la suma de la fuerza debida entre fases y a la fuerza debida entre barras de una misma fase:

**Recopilamos los datos de partida:**

- ✓ Fuerzas calculadas entre fases y entre barras de una misma fase en N/m

$$F1/L = 75996.5 \text{ N/m}$$

$$F2/L = 38978,38 \text{ N/m}$$

- ✓ El tipo de fijación de las barras a los soportes serán engastadas para un conductor perteneciente a una fase, y con apoyo simple para el conjunto de las tres barras de una fase. Según esto tendremos que usar los coeficientes correctores  $\beta$ :

$$\beta_1 = 0,73(\text{apoyo _ simple})$$

$$\beta_2 = 0,5(\text{engastado})$$

- ✓ Límite elástico de un conductor de cobre :

$$R_p = 250 \cdot 10^6 \text{ N} / \text{m}^2$$

La fuerza máxima que soportará el conductor más solicitado será la suma de la fuerza máxima ejercida entre las fases  $\sigma_1$  y la fuerza máxima ejercida entre barras de una misma fase  $\sigma_2$  siendo la fórmula del esfuerzo máximo  $\sigma_{\max}$ :

$$\sigma_{\max} = Mf / Mr$$

*Mf* Momento flexionante  
*Mr* Momento resistente

El momento flexionante de las barras según su colocación en los soportes será:

$$Mf = \frac{F / L \cdot d_s^2}{8}$$

Necesitaremos por tanto calcular el momento resistente de una barra **Mr<sub>1</sub>** y de una fase completa **Mr<sub>2</sub>** en m<sup>3</sup>:

$$Mr_2 = \frac{l \cdot w}{6} = \frac{40 \cdot 10}{6} = 6,67 \cdot 10^{-7} m^3$$

$$Mr_1 = Mr_2 \cdot 3$$




Teniendo en cuenta el coeficiente según el tipo de fijación  $\beta$ , la fórmula quedaría:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{\beta_1 \cdot 6 \cdot [F_1 / L] \cdot d_s^2}{8 \cdot l \cdot w^2 \cdot n} + \frac{\beta_2 \cdot 6 \cdot [F_2 / L] \cdot d_s^2}{8 \cdot l \cdot w^2}$$

$$\sigma = \frac{0,73 \cdot 6 \cdot 75996,5 \cdot d_s^2}{8 \cdot 40 \cdot 10^2 \cdot n} + \frac{0,5 \cdot 6 \cdot 38978,4 \cdot d_s^2}{8 \cdot 40 \cdot 10^2}$$

La barra que sufre la fuerza mayor no debe deformarse. Sin embargo, se acepta una pequeña deformación residual, según el coeficiente de plasticidad  $q$  definido por la norma IEC 865.

La distancia entre los soportes se puede determinar a partir de un valor de fuerza, a nivel de los conductores, que no se sobrepase que  $\sigma = q \cdot R_p$ , siendo  $q = 1,5$

Sección transversal	Factor de plasticidad q	
	1,5	
	1,19	1,83
	1,83	1,19

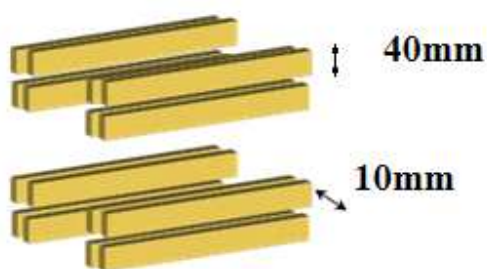
**Figura 24. Factor de plasticidad según IEC 865. Tomada de [7]**

Luego la distancia máxima entre soportes será:

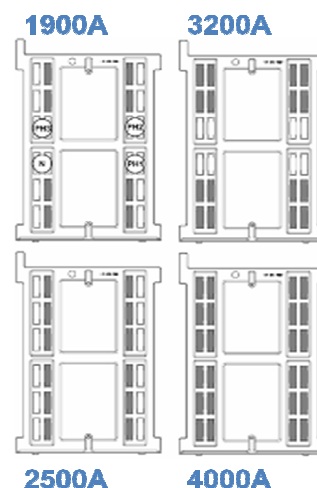
$$(1,5 \cdot 250 \cdot 10^6) \cdot (8 \cdot 40 \cdot 10^2) = \left( \frac{0,73 \cdot 6 \cdot 75996,5}{3} + 0,5 \cdot 6 \cdot 38978,4 \right) ds^2$$

Resolviendo:  **$ds = 0,229 \text{ m}$**

Por lo que para colocar un sistema de soportes seguro en un Juego de Barras como el indicado la distancia máxima entre soportes deberá ser  **$\leq 22,9 \text{ cm}$**



**Figura 25. Juego de Barras Principal.**



**Figura 26. Vista de perfil de los soportes según In. Tomada y modificada de [11]**



**Figura 27. Colocación de las barras en los soportes.**



**Figura 28. Vista completa del JdB**

## 5. ELECCIÓN DE COMPONENTES Y DISEÑO DEL CUADRO

El cometido del siguiente capítulo es realizar la implementación completa del CCM, mediante la elección de aparamenta, según la intensidad de cortocircuito calculada, y la construcción de la envolvente del CCM según el embarrado elegido y las distancias de los soportes calculada.

### 5.1. ELECCIÓN DE LA APARAMENTA PRINCIPAL

En este apartado se realizará la elección de la aparamenta según los parámetros de partida de nuestro cuadro y de la intensidad de cortocircuito calculada en el capítulo anterior. Para ello se realizará una síntesis de partida de las condiciones ambientales, eléctricas, así como de las características de la envolvente del CCM y la lista de cargas de los motores que deberá controlar nuestro cuadro dentro de la planta de azúcar.

#### 5.1.1. Condiciones ambientales.

El cuadro será apto para instalar en una subestación eléctrica de la planta azucarera y en las siguientes condiciones ambientales:

- Altitud.....56 msnm
- Temperatura máxima.....40°C
- Temperatura mínima.....-5°C
- Temperatura ambiente media en 24H.....35°C
- Humedad relativa máxima.....90 % a 20°C
- Humedad relativa mínima.....50% a 40°C

#### 5.1.2. Características eléctricas generales

Las tensiones y calibres asignados para el circuito de fuerza serán las siguientes distinguiendo entre el juego de barras, la aparamenta de potencia y el control:

La definición de cada uno de los siguientes parámetros se encuentran recogidas en la norma de aplicación IEC 61439 1&2 [5].

---

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

Juego de barras:

- Tensión de servicio.....400 V
- Calibre del juego de barras principal (A).....2080 A  
Constante
- Tensión de aislamiento.....1000 V
- Tensión soportada al impulso.....12 KV
- Frecuencia.....50 Hz
- Tensión de ensayo dieléctrico a 50 Hz.....2500 V, 1  
minuto

Las características eléctricas definidas en la requisición del cuadro, podrán variar entre los siguientes valores:

- Variaciones de tensión a frecuencia nominal..... $\pm 10\%$
- Variaciones de frecuencia a tensión nominal..... $\pm 5\%$
- Variaciones combinada tensión frecuencia..... Tensión:  $\pm 5\%$

Aparamenta de potencia y cableado:

- Tensión de servicio.....400 V
- Tensión de aislamiento.....690 V
- Tensión soportada al impulso.....8 KV
- Tensión de ensayo dieléctrico a 50 Hz.....2500 V, 1  
minuto

Para el circuito de control:

- Tensión de servicio.....230 V
- Tensión de aislamiento.....750 V

- Tensión soportada al impulso.....6 KV
- Tensión de ensayo dieléctrico a 50 Hz.....2500 V, 1 minuto

### 5.1.3. Características estructurales

Características según normas IEC 61439-1

- Índice de protección.....IP31
- Índice de forma.....3b
- Pintura.....RAL 9003
- Puertas de Aparamenta.....Plena u opacas.

Conexión de cables

- Acceso a las conexiones.....Frontal
- Paso de cables de potencia en llegadas.....Inferior
- Paso de cables de potencia en salidas.....Inferior

Juego de barras

- Revestimiento.....Cobre desnudo
- 

Las barras generales estarán dimensionadas, como mínimo, para la intensidad asignada al interruptor de acometida.

Las acometidas y salidas estarán dimensionadas, como mínimo, para la intensidad nominal asignada de los correspondientes interruptores o bases portafusibles, independientemente del valor de tarado de los relés o calibre del fusible respectivamente.

La alimentación se realiza desde un transformador en exclusiva, por lo que, el interruptor de llegada serán dimensionados como mínimo para el 100 % de la intensidad asignada del transformador.

---

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

#### 5.1.4. Características térmicas

El cuadro soportará de forma continuada el paso de la intensidad asignada, según se ha definido en el punto anterior y bajo las condiciones de servicio especificadas, sin que en ningún momento se obtengan calentamientos, con una temperatura ambiente que no exceda de los valores indicados en el apartado 5.1.1 de *condiciones ambientales*, superiores a los valores indicados en la Norma IEC 61439, en particular:

- Bornes para conductores aislados.....50K
- Elementos manuales de mando metálicos .....10K
- Elementos manuales de mando aislados.....20K
- Envolvente y cubiertas accesibles metálicas.....25K
- Envolvente y cubiertas accesibles aislantes.....30K
- Embarrados.....40K
- Contactos sin platear.....35K
- Contactos plateados.....50K
- Conexiones atornilladas sin platear.....40K
- Conexiones atornilladas plateadas.....50K



### 5.1.5. Lista de cargas

A continuación se describe el listado de cargas a proteger por el CCM instalado en la planta de azúcar. Los módulos serán los tamaños de cada unidad funcional, siendo 1Módulo=25mm. Cada columna del CCM tendrá una capacidad máxima de 72 módulos.

Esquema tipo	Descripción de Unidad Funcional	Potencia [kW]	Módulos	Cant
Acometida	Acometida 2000A del CCM		19/72	1
DOL_1	Criba rabillos Motor 1	0.5	4/72	1
DOL_1	Criba rabillos Motor 2	0.5	4/72	1
DOL_1	Hidascreen lavadero	1.5	4/72	1
DOL_1	Desarenador aguas fangosas	2.2	4/72	1
DOL_1	Tamiz semisumergido	3	4/72	1
DOL_1	Helice peladuras	3	4/72	1
DOL_1	Criba aguas fangosas	4	4/72	1
DOL_1	Ventilador secado caña de azúcar	4	4/72	1
DOL_1	Criba peladuras y rabillos	4	4/72	1
DOL_1	Soplante 1 borbotero	5.5	4/72	1
DOL_1	Soplante 2 borbotero	5.5	4/72	1
DOL_1	Helice extraccion de rabillos	5.5	4/72	1
DOL_1	Cinta de rabillos	5.5	4/72	1
DOL_1	Lavadero rabillos	5.5	4/72	1
DOL_1	Bomba recuperación derrames	5.5	4/72	1
DOL_1	Helice peladuras y rabillos	7.5	4/72	1
DOL_1	Bomba lavado hojas y rabillos	11	4/72	1
DOL_1	Bomba recuperación lavadero final	11	4/72	1
DOL_1	Cinta caña de azúcar a tolva	11	4/72	1
DOL_1	Bomba agua sal.lav	11	4/72	1
VSD	Bomba reciclo hidro-ciclon	18.5	6/72	1
VSD	Cinta caña de azúcar a tolva	18.5	6/72	1
VSD	Helice de caña de azúcar a lavadero final	22	6/72	1
VSD	Cinta de caña de azúcar a tambor lavador	22	6/72	1
VSD	Cinta tunel de caña de azúcar	30	6/72	1
VSD	Bomba aguas fangosas lavadero 1	30	6/72	1
VSD	Cinta entrada a lavadero rotativo	37	6/72	1
VSD	Recirculador hidro	37	6/72	1
INV	Erizo extractor de flotantes	0.25	8/72	1
INV	Triple rodillo lavadero final	1.1	8/72	1
SS	Bomba de agua a lavadero final	110	12/72	1
SS	Bomba agua lavadero final	132	18/72	1

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

DOL_2	Tambor balístico	15	6/72	1
DOL_2	Bomba reciclo lavadero rotativo	15	6/72	1
DOL_2	Bomba recirculacion tambor lavador	18.5	6/72	1
DOL_2	Extractor de caña de azúcar	22	6/72	1
DOL_2	Bomba aguas embarradas a desarenador	22	6/72	1
DOL_2	Movimiento mesa lavadero final	30	6/72	1
AUX-1/2 -	Auxiliares mando y proteccion		30/72	1

**Tabla 3. Lista de cargas del CCM de la planta azucarera**

### **5.1.6. Interruptores automáticos**

La aparamenta principal del CCM se compondrá de interruptores de bastidor abierto o tipo A e interruptores automáticos de caja moldeada o tipo B:

Tanto de los interruptores de tipo A como B deberán estar diseñados para ser capaces de resistir el paso de corrientes de cortocircuito y se les asignará una capacidad de resistencia nominal de corta duración, por lo general de 1 segundo. De ahí la importancia de conocer las intensidades de cortocircuito que circularán por las barras de cobre del cuadro.

Además, para la elección de los interruptores se tendrá en cuenta una tabla de decalajes del fabricante que mostrará el valor de la intensidad nominal de los aparatos según el grado de IP de la envolvente y de la temperatura ambiente (véanse tablas 4 y 5).

Y el modelo del fabricante se elegirá según el poder de corte asociado a la intensidad de cortocircuito calculada en el apartado de cálculos del presente proyecto.

Cada interruptor dispondrá además de los contactos auxiliares requeridos, según su función.

Se utilizarán interruptores automáticos para los siguientes servicios:

- Acometida primaria al transformador.
- Arrancadores a motor.
- Líneas de salida.

### Acometida primaria al transformador.

En la acometida eléctrica del centro de control de motores se montará un interruptor general de corte en carga según norma CEI-EN 60204.

Este interruptor será del tipo automático magneto-térmico y seccionará completamente las tres fases y el neutro de alimentación al centro de control de motores.

Tendrá una capacidad de ruptura nominal del circuito eléctrico de cómo mínimo un 20 % superior al consumo nominal del centro de control de motores a plena potencia.

El interruptor general del centro de control de motores poseerá un elemento de accionamiento manual manipulable desde el exterior, sin necesidad de abrir la puerta del cubículo, así mismo este dispositivo poseerá un elemento de enclavamiento que impida la apertura del cubículo con el interruptor conectado.

- a) De corte al aire sobre bastidor, ejecución extraíble, con poder asignado de corte de servicio (Ics) y cierre suficiente para las corrientes de cortocircuito especificadas. Estos interruptores tendrán las siguientes posiciones:
- Posición de insertado
  - Posición seccionado en prueba.
  - Posición extraído (fuera de la celda).

En la posición de seccionado en prueba estará conectado únicamente el cableado de control.

El interruptor automático general tendrá, como mínimo, una corriente de cortocircuito última Icu de **80 kA** a 400 V 50 Hz, y una tensión nominal de 2000A. Para un IP31 y una temperatura ambiente de 35°C:

Aparato fabricante	Icw (kA)	IP31					IP42/54				
		35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C
NW08N	50	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A
NW08H	80	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A
NW08L	100	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A	800 A
NW10N	50	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A
NW10H	70	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A
NW10L	25	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A
NW12 N1	80	1250 A	1250 A	1250 A	1250 A	1200 A	1250 A	1250 A	1250 A	1200 A	1200 A
NW16 N1	80	1600 A	1600 A	1550 A	1510 A	1470 A	1550 A	1510 A	1470 A	1440 A	1420 A
NW20 N	50	2000 A	2000 A	2000 A	1970 A	1910 A	2000 A	1970 A	1910 A	1880 A	1850 A
NW20 H	80	2000 A	2000 A	2000 A	1970 A	1910 A	2000 A	1970 A	1910 A	1880 A	1850 A
NW20 L	100	2000 A	2000 A	2000 A	1970 A	1910 A	2000 A	1970 A	1910 A	1880 A	1850 A
NW25 H	80	2450 A	2380 A	2320 A	2260 A	2000 A	2320 A	2260 A	2200 A	2150 A	2100 A
NW32 H	80	3000 A	2930 A	2850 A	2820 A	2700 A	2850 A	2820 A	2700 A	2640 A	2580 A

**Tabla 4. Modelos de interruptor de bastidor abierto del fabricante Schneider Electric  
Tomada y modificada de [11]**

Por lo que el modelo a elegir del fabricante Schneider Electric será un Masterpac NW20H. Siendo H la letra que identifica el poder de corte del interruptor de 80kA.

#### Arrancadores a motor y líneas de salida.

- b) De caja moldeada, ejecución extraíble, con poder asignado de corte de servicio (Ics) y cierre suficientes para las corrientes de cortocircuito especificadas. Estos interruptores tendrán las siguientes posiciones:

Posición de insertado

Posición seccionado en prueba.

Posición extraído (fuera de la celda).

En la posición de seccionado en prueba estará conectado únicamente el cableado de control.

Se garantiza la intercambiabilidad de todos los aparatos extraíbles de idénticas prestaciones.

Los mecanismos de cierre y apertura serán eléctricos y manuales, con características antibombeo, y disparo libre si se cierra contra un cortocircuito. El mando dispondrá de almacenamiento de energía por muelle que se cargará automáticamente, por medio de un motor eléctrico y con la posibilidad de cargarse manualmente.

Según la lista de cargas (véase tabla 3), y sus calibres asociados, se elegirá el interruptor de caja moldeada de acuerdo a la siguiente tabla 5, para una corriente de cortocircuito última  $I_{cc}$  de **80 kA** a 400 V 50 Hz, con un IP31 y una temperatura ambiente de 35°C:

Aparato fabricante 400V	IP31						IP42/54				
	Icw (kA)	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C
NSX100N	50	100 A	95 A	95 A	90 A	90 A	95 A	90 A	90 A	85 A	80 A
NSX100H	70	100 A	95 A	95 A	90 A	90 A	95 A	90 A	90 A	85 A	80 A
NSX100S	100	100 A	95 A	95 A	90 A	90 A	95 A	90 A	90 A	85 A	80 A
NSX160N	50	160 A	155 A	150 A	145 A	140 A	150 A	145 A	140 A	135 A	130 A
NSX160H	70	160 A	155 A	150 A	145 A	140 A	150 A	145 A	140 A	135 A	130 A
NSX160S	100	160 A	155 A	150 A	145 A	140 A	150 A	145 A	140 A	135 A	130 A
NSX250N	50	225 A	215 A	210 A	205 A	200 A	210 A	205 A	200 A	195 A	190 A
NSX250H	70	225 A	215 A	210 A	205 A	200 A	210 A	205 A	200 A	195 A	190 A
NSX250S	100	225 A	215 A	210 A	205 A	200 A	210 A	205 A	200 A	195 A	190 A
NSX400N	50	400 A	380 A	370 A	360 A	350 A	370 A	360 A	350 A	340 A	330 A
NSX400H	70	400 A	380 A	370 A	360 A	350 A	370 A	360 A	350 A	340 A	330 A
NSX400S	100	400 A	380 A	370 A	360 A	350 A	370 A	360 A	350 A	340 A	330 A
NSX630N	50	505 A	490 A	480 A	470 A	460 A	480 A	470 A	460 A	450 A	440 A
NSX630H	70	505 A	490 A	480 A	470 A	460 A	480 A	470 A	460 A	450 A	440 A
NSX630S	100	505 A	490 A	480 A	470 A	460 A	480 A	470 A	460 A	450 A	440 A

**Tabla 5. Modelos de interruptor de caja moldeada del fabricante Schneider Electric  
Tomada y modificada de [11].**

## 5.2. APARATOS DE MANDO, MEDIDA, PROTECCIÓN Y SEÑALIZACIÓN.

Para poder implementar nuestro CCM, objeto del presente proyecto, de una manera coherente y completa, deberemos definir todos los elementos de mando, medida, protección y señalización que conforman un Centro de Control de Motores según la norma IEC61439-1 sobre conjuntos de Baja Tensión. A continuación se definen estos elementos que serán las características de la aparamenta finalmente elegida y que se redacta en un listado de material en el punto siguiente.

---

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

### **5.2.1. Generalidades**

Todos los aparatos estarán identificados de forma indeleble con el símbolo que lo representa en el esquema funcional.

Todos los circuitos auxiliares irán equipados con dispositivos de conexión y protección magnetotérmica con contactos auxiliares.

Todos los circuitos voltimétricos alimentados desde un mismo transformador de tensión, deberán llevar interruptores magnetotérmicos independientes en el secundario.

Los aparatos estarán situados de forma que las influencias mutuas, choques, vibraciones, campos de energía, etc., no afecten a su buen funcionamiento.

Se instalarán bornas de pruebas en los circuitos amperimétricos y voltimétricos de los transformadores de protección y medida.

No se instalarán aparatos en las puertas de acceso a los compartimentos de barras ni de cables exteriores.

Todos los instrumentos de control y mando se situarán de forma visible y accesible desde el frente del cuadro.

En el interior de la celda se montarán todos los relés auxiliares de protección, mando, regulación, etc.

Todos los terminales de conexión serán fácilmente accesibles y visible su identificación.

Entre los bornes de conexionado externo y el cubículo de mando, existirá un canal de cables ocupado como máximo al 50%.

### **5.2.2. Circuitos de mando y control**

Los circuitos de control, señalización y mando serán independientes para cada unidad funcional y estarán protegidos con interruptores magnetotérmicos selectivos o fusibles, según lo requerido en cada caso. Se preferirá el empleo de magnetotérmicos.

Los fusibles serán modulares seccionables con indicación de fusión, montados sobre base aislada de material autoextinguible.

Los interruptores tendrán contacto auxiliar, cuando sea requerido.

La designación de los equipos o elementos deberá reflejar su función en el esquema de mando.

Se representará agrupado todo el bornero de conexionado externo, independientemente que se refleje en cada uno de los esquemas.

Los esquemas de mando realizados no deben provocar ningún disparo al quitar y reponer corriente continua.

Los disparos externos y de mínima tensión deben hacerse a emisión de corriente, ya que, si fueran a falta de tensión, al cortar la tensión externa existiría un momento en el que se produciría el disparo de la posición.

### **5.2.3. Aparatos de mando de los arrancadores**

Se dispondrán los elementos de mando sobre la puerta, de forma accesible desde el frente y perfectamente diferenciados los que correspondan a distintas utilizaciones.

Para el mando de interruptores automáticos asociados al accionamiento de motores “en cuadros de potencia”, se dispondrá un selector con las siguientes funciones:

- Control remoto: Será operante el interruptor insertado sólo desde la estación de mando junto al motor.
- Control local: Será operante el interruptor en posición de prueba, “extraído” desde el propio cuadro.
- Mantenimiento: Será operante el interruptor en posición de prueba, “extraído” desde la estación de mando junto al motor.
- Desconexión: Todo el mando inoperante.
- Control y mando

Para el control y mando local de cada arrancador se dispondrá sobre el frente del cubículo correspondiente los siguientes elementos, siempre de acuerdo con el esquema de control definido en el proyecto:

Pulsador de parada de emergencia, con retención en posición de bloqueo tipo seta, acción extracción o sensitivo.

Pulsador para el rearme manual del térmico.

Pilotos indicadores de paro-marcha, de color verde y rojo respectivamente.

Piloto de indicación de disparo de protecciones, color naranja.

Selector, local-remoto, para prueba en posición extraído.

#### **5.2.4. Transformadores de intensidad.**

- a) Los transformadores serán compactos e incombustibles aislados con resina epoxy y se montarán sobre la parte fija del cuadro, de manera que éste quede sin tensión cuando el interruptor está abierto o seccionado (salvo acometidas).
- b) Serán capaces de soportar sin daño, durante un segundo, los esfuerzos térmicos y dinámicos correspondientes a la intensidad de cortocircuito.
- c) La corriente asignada primaria de los T.I., destinados a salida de motores, será como mínimo de 125% de la intensidad nominal correspondiente, y como máximo el límite del rango de su relé de protección (aprox. 140%). Su intensidad secundaria será 5 A., para protección y medida. Para medida exterior se emplearán T.I. auxiliares 5/1 A.

La clase de protección será la requerida, como mínimo 5P10 para protección y clase 1 para medida.

El factor de sobrecarga y la potencia de precisión serán los requeridos por los elementos de medida y protección a alimentar con un mínimo de 5 VA.

#### **5.2.5. Señalizadores luminosos**

Los portalámparas se montarán sobre la puerta, no serán sensibles a las vibraciones y se podrá sustituir la lámpara desde el frente sin mover el portalámparas.

Las lámparas serán de larga vida, tipo multiled.

#### **5.2.6. Aparatos de medida**

Los amperímetros analógicos de salida a motores tendrán escala comprimida y los asociados a las líneas de llegada o salidas tendrán escala no lineal.



Donde se especifique se dispondrán los oportunos contadores u otros eventuales aparatos de medida.

Se contemplará el uso de analizadores de redes, para visualizar los valores medios de intensidad o tensión.

#### **5.2.7. Relés de protección**

Los relés dispondrán de señalización óptica, con diferenciación de la función actuante y rearme desde el frente sin necesidad de abrir la puerta.

El disparo de los relés indirectos será directo a la bobina de disparo y además a través de un relé de rearme manual desde el exterior.

#### **5.2.8. Relés auxiliares**

Todos los relés auxiliares se montarán en el interior de la celda y serán del tipo enchufable, con tomas delanteras.

#### **5.2.9. Reaceleración de motores**

Cuando se requiera re arranque automático de motores después de fallo eléctrico se dispondrán los siguientes sistemas según sea la duración del fallo y tensión de mando del elemento de corte.

##### **I. Arranque con interruptor automático**

La tensión de mando de los interruptores es en c.c., disponiéndose un relé de mínima tensión que abra el interruptor si el fallo de tensión en c.a. es superior a un tiempo prefijado. (del orden de 300 mseg. regulables). Al restablecer la tensión antes de un tiempo, igualmente definido, se emitirán impulsos de corriente a las bobinas de cierre de forma que se restablezca el servicio de todos los motores que estaban en marcha antes de producirse el fallo eléctrico de acuerdo con los grupos establecidos para cada motor o grupo de motores que deban re arrancar.

##### **II. Arranque con contactor**

En el interior de cada arrancador se instalará un relé adecuado a la secuencia de reaceleración requerida, como puede ser:

- Fallo de tensión inferior a 300 milisegundos (regulable), el contacto de re arranque permanece cerrado aunque el contactor se abra.

- Fallo de tensión superior a 300 milisegundos e inferior a un tiempo de espera máximo prefijado, todos los motores que estaban funcionando antes del fallo eléctrico reaccionan automáticamente en grupos escalonados, previamente seleccionados, mediante el cierre del contacto de re arranque.
- Se asegurará que en ningún caso se reacelerará un motor que no estuviera en marcha previamente a la caída de tensión.

#### ***5.2.10. Código de colores de conductores.***

Los conductores que componen el centro de control de motores, cumplirán con la norma CEI-EN 60204-1 respecto a los colores del aislamiento.

#### ***5.2.11. Cableado interno de los cubículos***

El cableado interno de los cubículos se realizará con conductor de cobre flexible, con un aislamiento mínimo de 750 V y de los colores mencionados en la norma CEI-EN 60204 1.

#### ***5.2.12. Cableado interno de potencia***

El cableado de potencia se realizará con conductor flexible de cobre de la sección adecuada a la potencia a maniobrar por el cubículo de acuerdo con la norma CEI-EN 60364.

Para secciones inferiores o iguales a 50 mm<sup>2</sup> se utilizará cable flexible.

Para secciones superiores a 50 mm<sup>2</sup> se utilizará pletina de cobre flexible aislada.

Todas las conexiones se realizarán con los adecuados elementos terminales de cobre que aseguren tanto el perfecto contacto eléctrico como la correcta sujeción mecánica.

Se garantizará el correcto par de apriete aplicado a cada tornillo, de acuerdo con la especificación del fabricante del componente eléctrico, que deberá aportar el número de serie y certificado de la herramienta dinamométrica correspondiente.

Todos los cables de potencia llevarán un rótulo identificativo con la leyenda correspondiente a su denominación en los esquemas eléctricos; este rótulo estará realizado en material inalterable por el paso del tiempo y con tinta indeleble o cualquier otro sistema de escritura equivalente.

Todos los conductores de potencia del interior del cubículo, se dispondrán de forma agrupada y con elementos de sujeción que impidan el movimiento de los conductores.

Estas sujeciones serán aislantes y tendrán un grado de protección ante el fuego igual al del conductor como mínimo.

#### **5.2.13. Cableado interno de mando**

El cableado de mando se realizará con conductor flexible de cobre de sección mínima de 0,5 mm<sup>2</sup>.

Todas las conexiones se realizarán con los adecuados elementos terminales de cobre que aseguren tanto el perfecto contacto eléctrico como la correcta sujeción mecánica.

Ante el evidente peligro que representa una conexión mal apretada, se realizará el par de apriete aplicado a cada tornillo, de acuerdo con la especificación del fabricante del componente eléctrico, además del número de serie y certificado de la herramienta dinamométrica correspondiente. Se prestará especial atención a las conexiones de los comunes de alimentación, los cuales podrán ir puenteados de un borne de conexión a otros, pero siempre los conductores comunes se conectarán mediante un terminal común, nunca se instalarán dos o más comunes con terminales independientes en el mismo borne de conexión.

Todos los cables de mando llevarán un rótulo identificativo con la leyenda correspondiente a su denominación en los esquemas eléctricos; este rótulo estará realizado en material inalterable por el paso del tiempo y con tinta indeleble o cualquier otro sistema de escritura equivalente.

Todos los conductores de mando del interior del cubículo, se dispondrán de forma agrupada y con elementos de sujeción que impidan el movimiento de los conductores.

Estas sujeciones serán aislantes y tendrán un grado de protección ante el fuego igual al del conductor como mínimo.

#### **5.2.14. Elementos de protección**

Se consideran elementos de protección a aquellos destinados a interrumpir el flujo eléctrico en caso de avería de alguno de los componentes que componen el centro de control de motores.

En la protección contra corto circuitos se elige protección con interruptor automático en vez de fusibles y los criterios de protección son:

- ✓ Poder de corte del interruptor mayor que la máxima intensidad de cortocircuito (calculada en el presente proyecto).
- ✓ Intensidad de cortocircuito mínima (cortocircuito al final de la línea) mayor que la intensidad de regulación del disparador electromagnético.
- ✓ El interruptor debe cortar la corriente de cortocircuito en un tiempo inferior a aquel que hace tomar al conductor una temperatura superior a su temperatura límite. Así en el cortocircuito el conductor no llegará a la temperatura máxima admisible. La intensidad de cortocircuito máxima debe ser menor que la intensidad que corresponde a la energía disipada admisible en el conductor.

Para la protección de los circuitos de potencia de alimentación a los motores, se instalarán interruptores automáticos con protección magnética, térmica y desequilibrio de fase en cada circuito de alimentación.

La protección térmica será ajustable y la protección magnética será de cómo mínimo diez veces la protección térmica. Los interruptores automáticos de protección de potencia tendrán un poder de corte último mínimo  $I_{cc}$  (correspondiente a los 80 kA calculados en el presente proyecto) a 400 V 50 Hz.

El interruptor automático de protección de los circuitos de potencia, cumplirá también con las funciones de seccionador de seguridad del circuito, por lo que será instalado de tal forma que sea posible su conexión / desconexión desde el exterior del cubículo.

Este mando exterior permitirá el enclavamiento del interruptor en posición desconectado con hasta tres candados, así mismo permitirá el enclavamiento con el cubículo de forma que este no pueda ser desacoplado ni insertado en su lugar con el interruptor en posición conectado.

Todos los interruptores automáticos de protección de potencia llevarán montados dos contactos auxiliares libres de potencial como mínimo, uno normalmente abierto y otro normalmente cerrado. Estos contactos auxiliares repetirán el estado de los contactos principales de potencia, en todas las condiciones, es decir reflejarán el estado de los contactos principales tanto si el interruptor se ha abierto manualmente como por un disparo de la protección.

### **5.2.15. Tensión de control o de mando.**

A todo lo largo del cuadro se dispondrán unos circuitos auxiliares independientes y por cada juego de barras, para control, mando y señalización.

Salvo que se indique otra cosa en los esquemas o en la requisición estas tensiones serán:

- ✓ - 230 V, 50 Hz: Para resistencias de calefacción.
- ✓ - 110 V, 50 Hz: Para protección por subtensión. Este circuito se alimentará desde un grupo de transformadores dispuestos en el propio cuadro por cada juego de barras.
- ✓ - 125 ó 110 V, cc.: Para protección, maniobra, control y señalización de cuadros de potencia.
- ✓ - 125 ó 110 V, cc.: Para el motor de rearme de muelles de interruptores automáticos.

El circuito de corriente continua se alimentará desde un sistema de batería de acumuladores independiente (independientes al CCM), disponiéndose de lámparas de señalización de presencia de tensión en la acometida.

Todos los circuitos serán protegidos con interruptores magnetotérmicos. El circuito de señalización estará separado del de maniobra y control.

Al objeto de realizar el mando de los elementos de los centros de control de motores, se instalará un transformador monofásico separador de circuitos, el cual se conectará en sus bornas primarias al embarrado de tensión de potencia, y las bornas secundarias a un repartidor de tensión de mando.

La conexión del transformador de mando asegurará que en ningún caso la tensión de secundario exceda los 270 V en tensión alterna.

Se dispondrá una protección en el primario y secundario del transformador de mando que asegure la integridad del equipo, así como el seccionamiento seguro de los circuitos de mando.

En la salida del transformador de mando, se instalarán distintos circuitos, protegidos por interruptores automáticos, los cuales alimentarán a los distintos cubículos en función de la distribución de tensión de mando prevista en los esquemas de detalle.

La potencia del transformador de mando se calculará de forma que la tensión de mando no descienda nunca del 95% de la tensión nominal, en condiciones normales de funcionamiento.

Uno de los polos del secundario del transformador de mando se conectará directamente al embarrado de tierra.

El transformador de mando del centro de control de motores, tendrá un grado de protección IP-21 como mínimo y cumplirá con la norma CEI-EN 60742.

#### ***5.2.16. Distribución de la tensión de mando***

La conexión de la tensión de mando a cada cubículo, permitirá que esta tensión proceda de un circuito independiente por cada motor.

Tal y como se mencionó en el apartado sobre el transformador de mando, el esquema de detalle definirá diferentes circuitos de mando a la salida del transformador, los cuales deberán poder llegar a cada cubículo.

Para ello, en la parte superior o inferior de la envolvente, se dispondrá de un canal independiente por el cual se pueda cablear esta tensión de mando.

#### ***5.2.17. Cableado de control***

El cable a emplear será flexible, tensión de aislamiento 750 V, no propagador del incendio y nula emisión de gases halógenos.

Todo el cableado se situará de forma tal y se protegerá de manera que no pueda ser dañado por los gases de las cámaras de soplado, empleándose canaletas de plástico ventiladas, de las mismas características requeridas para el cableado y utilizadas como máximo al 80% de su sección útil.

Las canaletas responderán, como mínimo, a la clasificación M1, categoría FOV, en su comportamiento frente al fuego, y demás requerimientos de las Normas IEC [5].

El cableado de fuerza y control de los arrancadores montados en carros extraíbles estará agrupado en mazos independientes, firmemente amarrado.

El cableado se hará estrictamente de acuerdo con los esquemas de control contractuales, debiendo estar señalizados los extremos con anillos de identificación y numerados con los esquemas de cableado, con indicación de procedencia y destino.

Los cables entre partes fijas y móviles serán agrupados formando mazos flexibles y protegidos mecánicamente.

Siempre que un cable o mazo de cables atraviese partes metálicas será debidamente protegido.

Las secciones mínimas de cable a emplear serán:

- Circuitos de fuerza de 4 mm<sup>2</sup>
- Circuitos de mando de 1,5 mm<sup>2</sup>
- Circuitos de señalización de 1,5 mm<sup>2</sup>
- Circuitos de intensidad derivados de trafos de intensidad de 4 mm<sup>2</sup>

#### **5.2.18. Bloques de terminales**

Las bornas serán de poliamida reforzada con fibra, resistentes a la llama, sin derivados halógenos e irrompibles.

Las bornas de conexión de los cables que van al exterior serán seccionables, tipo cuchilla, para montar sobre rail normalizado. El apriete del conductor dispondrá de sistema anticizallante e inaflojable, para un conductor de hasta 4 mm<sup>2</sup>.

Sólo se permite la conexión de un conductor por borna, empleándose puentes con barreta de interconexión cuando sea necesario.

Los bloques o bornas de prueba de los secundarios de los transformadores de medida se instalarán, en todos los casos en el interior, en lugar preferente y fácilmente accesible al abrir la puerta.

Todos los bloques de terminales se montarán en posición fácilmente accesible y con suficiente espacio para inspección y mantenimiento.

Cada terminal de secundario del T.I. se cableará hasta el bloque de comprobación y luego se conectará de acuerdo con el esquema de cableado. El punto neutro de cada grupo trifásico de T.I. dispondrá de una toma de tierra independiente en el bloque de comprobación.

Todos los circuitos y bloques de terminales deberán ser accesibles con todos los circuitos de potencia y auxiliares en servicio.

Las bornas serán adecuadas para las secciones y número de cables previstos en el proyecto, y tendrán la suficiente robustez para soportar el tiro de dichos cables sin que el regletero se deforme.

### **5.2.19. Elementos generales de visualización**

En la puerta del modulo de entrada general, se instalará, como mínimo, un elemento de visualización de la tensión general de alimentación, y del consumo total de las fases.

Como opción, se contempla la posibilidad de que los centros de control de motores lleven montados una pantalla de operación, en la cual se puedan visualizar los siguientes elementos:

- Tensión de alimentación entre fases y entre fases y neutro.
- Consumo por fases.
- Estado de los cubículos.
- Alarma por cubículo.
- Valores eléctricos de cada motor.

### **5.2.20. Circuito de tierra**

A efectos de puesta a tierra se dispondrá una pletina de cobre desnudo a lo largo de todo el cuadro, con una sección mínima de 200 mm<sup>2</sup>.

La pletina será capaz de soportar el paso de la corriente máxima de defecto previsto, sin que se produzcan deformaciones permanentes.

En cada extremo de dicha pletina se dispondrán unos terminales para conexión del cable de tierra que se especifique. También se dispondrán taladros para conexión de conductores exteriores.

En el cuadro que dispone de un compartimento lateral y vertical para entrada, remonte y conexión de cables, se dispondrá igualmente una pletina de cobre vertical y accesible, en dicho compartimento, para la puesta a tierra de equipos y armadura de cables. Esta pletina vendrá convenientemente taladrada en toda su longitud y en correspondencia con los bloques y/o bornas de conexión.

Todas las partes metálicas sin tensión y equipos se pondrán a tierra a través de dichas pletinas.

Los elementos de corte principal extraíbles dispondrán de un sistema para la puesta a tierra integral del conjunto, cuando se encuentre en las posiciones de insertado y extraído en prueba.



Los carros extraíbles contenedores de aparellaje eléctrico dispondrán de una pinza de conexión para la puesta a tierra integral de conjunto. Dicha pinza será la primera que se conecte, y la última que se desconecte.

Las puertas se pondrán a tierra a través de un cable flexible.

Las conexiones de las barras dispondrán de puntos accesibles físicamente adecuados para facilitar la puesta a tierra de elementos portátiles.

#### **5.2.21. Resistencias anticondensación**

Cada columna dispondrá de una resistencia anticondensación tipo blindada y aleteada, montada en la parte inferior de cada columna, con una temperatura superficial y situada de forma que, no pueda dañar los cables o elementos próximos.

Dispondrán de los sistemas de protección adecuadas, estando controlados individualmente por termostato.

#### **5.2.22. Iluminación interna**

En todos los compartimentos accesibles con puerta, donde se monten elementos auxiliares de control, como relés, magnetotérmicos, bornas, etc., que requieran efectuar operaciones de control y/o mantenimiento, y no sean extraíbles, se dispondrá iluminación interna con lámpara fluorescente protegida con difusor y activada por microinterruptor.

#### **5.2.23. Placas de identificación y sinóptico**

Sobre el frente del cuadro, se dispondrá un esquema sinóptico funcional, en material plástico y perfectamente adherido a la chapa.

Se dispondrán rótulos para la identificación del cuadro, de cada columna, de cada unidad funcional, y cada uno de los elementos que se montan en el cuadro. Estos rótulos irán remachados o atornillados.

Las etiquetas serán de plástico laminado en blanco, con letras negras grabadas, de 6mm. de altura mínima.

Se identificarán igualmente todos los elementos de corte extraíbles o cajones guardamotores.

Los componentes de control como relés auxiliares, aparatos a medida, fusibles, etc., se identificarán según los diagramas de cableado. Se asegurará la fijación firme de estas identificaciones.

### 5.3. LISTADO COMPLETO DE APARAMENTA

A continuación se muestra a modo de resumen el listado del material principal completo elegido para cada unidad funcional de las que se compondrá el CCM completo. Este listado de material, que conforma cada una de las unidades funcionales del cuadro, se dimensiona eléctricamente en los esquemas tipo anexados en el proyecto.

#### 5.3.1. *Acometida al Centro de Control de Motores*

##### **Equipado con:**

- 1 Interruptor de bastidor abierto tipo A de 2000A.
- 1 Unidad de control electrónica
- 2 Contacto auxiliar de defecto OF
- 1 Contacto auxiliar de defecto SD
- 1 Bobina de disparo
- 1 Enclavamiento en posición abierto por 1 cerradura
- 3 Transformador de intensidad 800/5A
- 1 Central de medida
- 1 Toroidal rectangular 280x115mm
- 1 Relé diferencial 30mA/30A - 0/4s
- 1 Disyuntor auxiliar P25M 3P
- 1 Contacto auxiliar
- 2 Piloto luminoso directo con LED
- 2 Disyuntor auxiliar 2P
- 1 Limitador de sobretensiones Clase II

#### 5.3.2. *Salida Motor Arranque Directo: DOL\_1 (Protección magnética)*

##### **Equipado con:**

- 1 Interruptor magnético.
- 1 Manto rotativo prolongado
- 1 Contactor
- 2 Relé térmico
- 1 Disyuntor auxiliar 2P
- 1 Pulsador
- 1 Selector dos posiciones

---

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

### **5.3.3. Salida Protección de Variador de Velocidad: VSD**

#### **Equipado con:**

- 1 Interruptor automático de caja moldeada
- 1 Unidad de control electrónica
- 1 Mando rotativo prolongado
- 2 Contacto auxiliar
- 1 Bobina de disparo
- 1 Toroidal cerrado de diámetro 80 tipo IA
- 1 Relé diferencial 30mA/30A - 0/4s
- 1 Relé auxiliar instantáneo 4NANC 230Vac
- 4 Relé auxiliar instantáneo 4NANC 24Vac
- 2 Piloto luminoso directo con LED
- 1 Pulsador para rearme del relé diferencial
- 2 Disyuntor auxiliar 2P 6A curva C
- 1 Contacto auxiliar para disyuntor auxiliar

### **5.3.4. Salida Motor Inversor: INV**

#### **Equipado con:**

- 1 Disyuntor magnético
- 1 Mando rotativo prolongado
- 1 Contacto auxiliar instantáneo
- 2 Contactor
- 1 Relé térmico
- 2 Bloque frontal contactos auxiliares 2NA2NC
- 1 Toro cerrado de diámetro 30 tipo TA
- 1 Relé diferencial 300mA
- 1 Relé auxiliar instantáneo 4NANC 230Vac
- 6 Relé auxiliar instantáneo 4NANC 24Vac
- 3 Piloto luminoso directo con LED
- 1 Pulsador para rearme del relé diferencial
- 2 Disyuntor auxiliar 2P 6A curva C

### **5.3.5. Salida Arrancador Progresivo: SS**

#### **Equipado con:**

- 1 Interruptor automático de caja moldeada
- 1 Unidad de control electrónica
- 2 Contacto auxiliar
- 1 Bobina de disparo MX
- 1 Mando rotativo prolongado
- 1 Toro cerrado de diámetro 80 tipo IA
- 1 Relé diferencial 30mA/30A - 0/4s
- 1 Arrancador Progresivo
- 1 Relé auxiliar instantáneo 4NANC 230Vac
- 3 Relé auxiliar instantáneo 4NANC 24Vac
- 2 Piloto luminoso directo con LED
- 1 Pulsador para rearme del relé diferencial
- 2 Disyuntor auxiliar 2P 6A curva C

### **5.3.6. Maniobra AD**

#### **Equipado con:**

- 1 Interruptor auxiliar 3P
- 1 Transformador monofásico
- 1 Limitador contra sobretension 3P+N
- 1 Disyuntor auxiliar 2P
- 1 Alimentación auxiliar 24 V DC
- 2 Contacto auxiliar

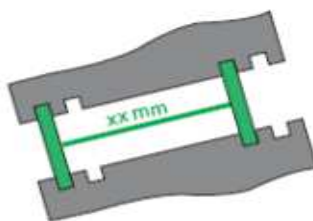
#### 5.4. MECANIZADO DE BARRAS

Una vez elegido el juego de barras del cuadro se realiza el mecanizado de las pletinas del mismo para su implementación en el CCM. Para ello se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

##### 5.4.1. Distancia de aislamiento

La distancia de aislamiento es la distancia más corta en el aire:

- ✓ Entre dos conductores activos.
- ✓ Entre un conductor activo y la masa.



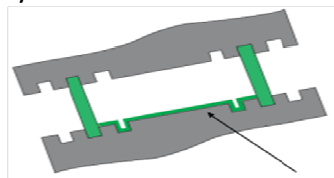
Las normas CEI 61439-1, UNE EN 61439-1, indican los valores mínimos de las distancias de aislamiento que permiten soportar de forma segura las tensiones de choque en el polo de 0 a 2.000m de altitud.

Las norma requiere la existencia de una distancia de aislamiento de 14 mm entre una parte sin protección en tensión, teniendo en cuenta la deformación posible de las partes de la envolvente.

##### 5.4.2. Línea de fuga

La línea de fuga es la distancia más corta a lo largo de un aislante entre:

- ✓ 2 conductores activos.
- ✓ 1 conductor activo y la masa.



La línea de fuga

Las normas IEC 61439-1, UNE EN 61439-1 [5] recomiendan una línea de fuga mínima de 16 mm para una tensión de servicio de hasta 1.000 V.

### 5.4.3. Fijación de barras

El número y la separación de los soportes se definen en función de los esfuerzos:

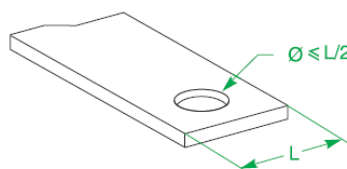
Eléctricos (corriente de cortocircuito presumible).

Mecánicos (peso y posición de las barras).

Los soportes (o una parte de los mismos) deben ser de material amagnético con el fin de evitar el calentamiento debido a los efectos de bucle alrededor de los conductores.

### 5.4.4. Punzonado

El diámetro de punzonado depende de los tornillos utilizados. La punzonadora debe estar equipada con una prensa de flanco que permite levantar el punzón sin deformar la barra y evitando la formación de virutas.



### 5.4.5. Plegado del Juego de Barras

La calidad del cobre permite realizar pliegues con un radio mínimo igual al espesor de la barra (5 o 10 mm).

Dejar un radio mínimo de plegado para evitar fisuras y desgarraduras en el metal.

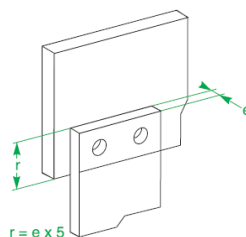
No desdoblar una barra de cobre para volverla a utilizar. No doblar una barra a la altura de un agujero.

Las superficies en contacto deben estar limpias, secas, planas y sin rayaduras importantes.

Si fuera necesario, desengrasar la barra y, a continuación, pulir ligeramente las superficies de contacto con papel de lijar suave.

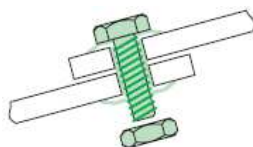
Para barras de cobre de hasta 10 mm de espesor, prever un contacto equivalente a 5 veces el espesor de la barra derivada.

El uso habitual es tener un recubrimiento total.



#### 5.4.6. Tornillos utilizados para el apriete de los contactos.

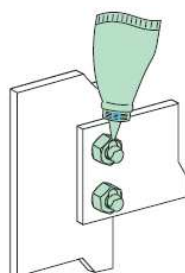
Los tornillos son de acero zincado bicromado (Zn8C) de clase 8-8. Después de un apriete al par, estos tornillos conservan todas las propiedades mecánicas a lo largo del tiempo (elasticidad), sin deformaciones de la materia (fluencia).



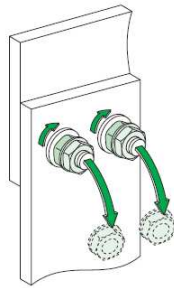
La presión de contacto está en función del par de apriete aplicado a dichos tornillos. Se debe utilizar una llave dinamométrica de par calibrado para garantizar la presión de contacto.

El par de apriete depende del diámetro y de la calidad de los tornillos y se tiene que reajustar periódicamente.

Se recomienda marcar el tornillo con un barniz acrílico tintado, indeleble y resistente a la temperatura. Permite no sólo un control visual que garantiza un apriete efectivo al par, sino también identificar posibles aflojamientos.



Una tuerca autorrompible permite garantizar el par de apriete.



Las barras están sujetas con soportes aislantes fijados a la armadura.

El numero de soportes de barras que se van a instalar depende de:

- La sección de la barra
- La corriente asignada de corta duración admisible ( $I_{cc}$ )

#### **5.4.7. Decalaje térmico**

La temperatura interior del armario puede sufrir variaciones debido a los aparatos instalados (aparatos de fuerte potencia, variadores de velocidad, etc).

El aumento de temperatura afecta en el decalaje térmico de los juegos de barras y de los aparatos.

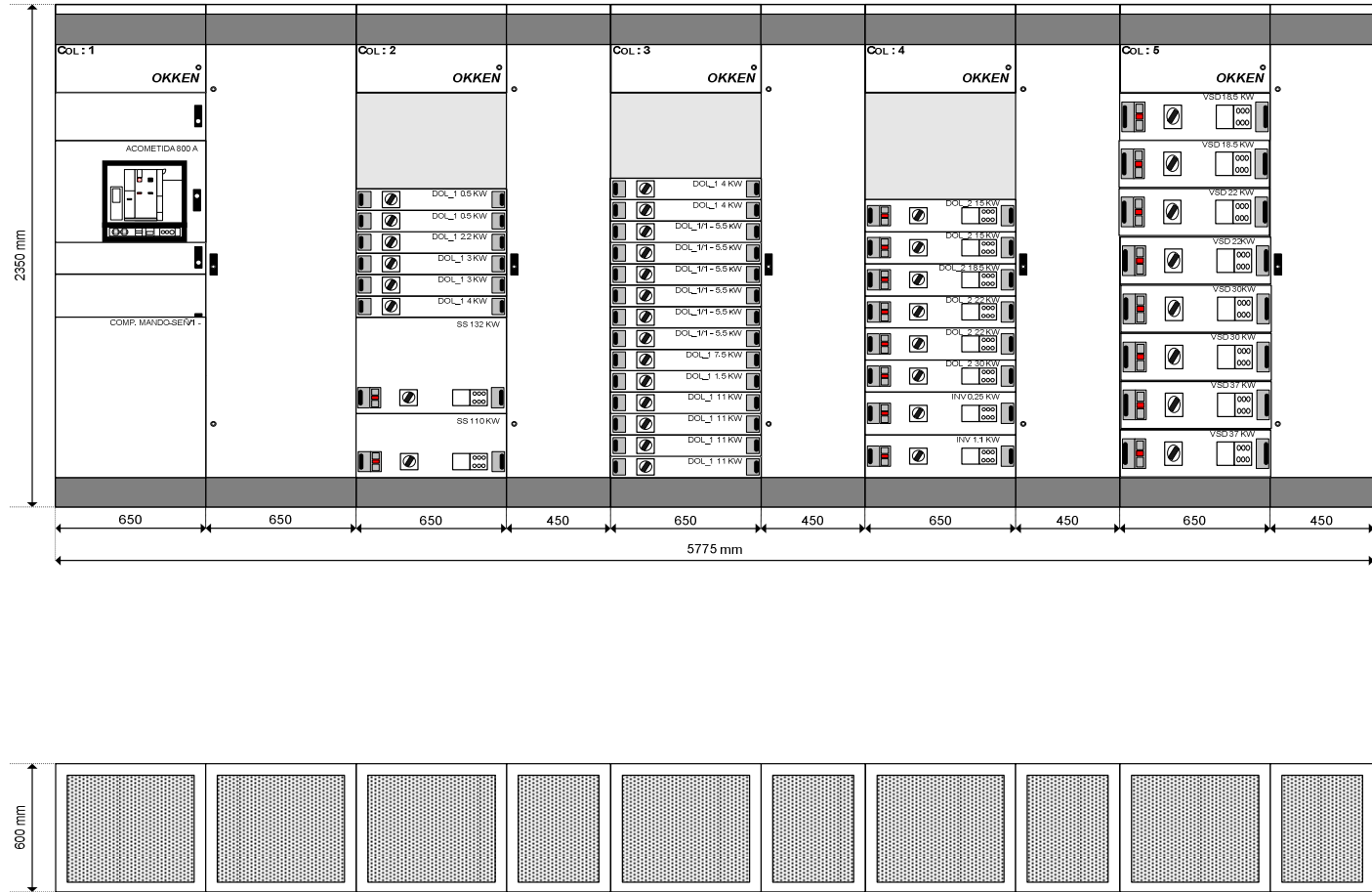
Los sistemas de ventilación forzada o climatización disminuyen los efectos de decalaje térmico.

#### **5.4.8. Optimización térmica**

El revestimiento epoxy de los juegos de barras permite una mejor disipación térmica, hasta el 10%, a tener en cuenta sobre la tabla de decalajes de barras de la *tabla 2* del presente documento.



5.5. FRONTAL DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES

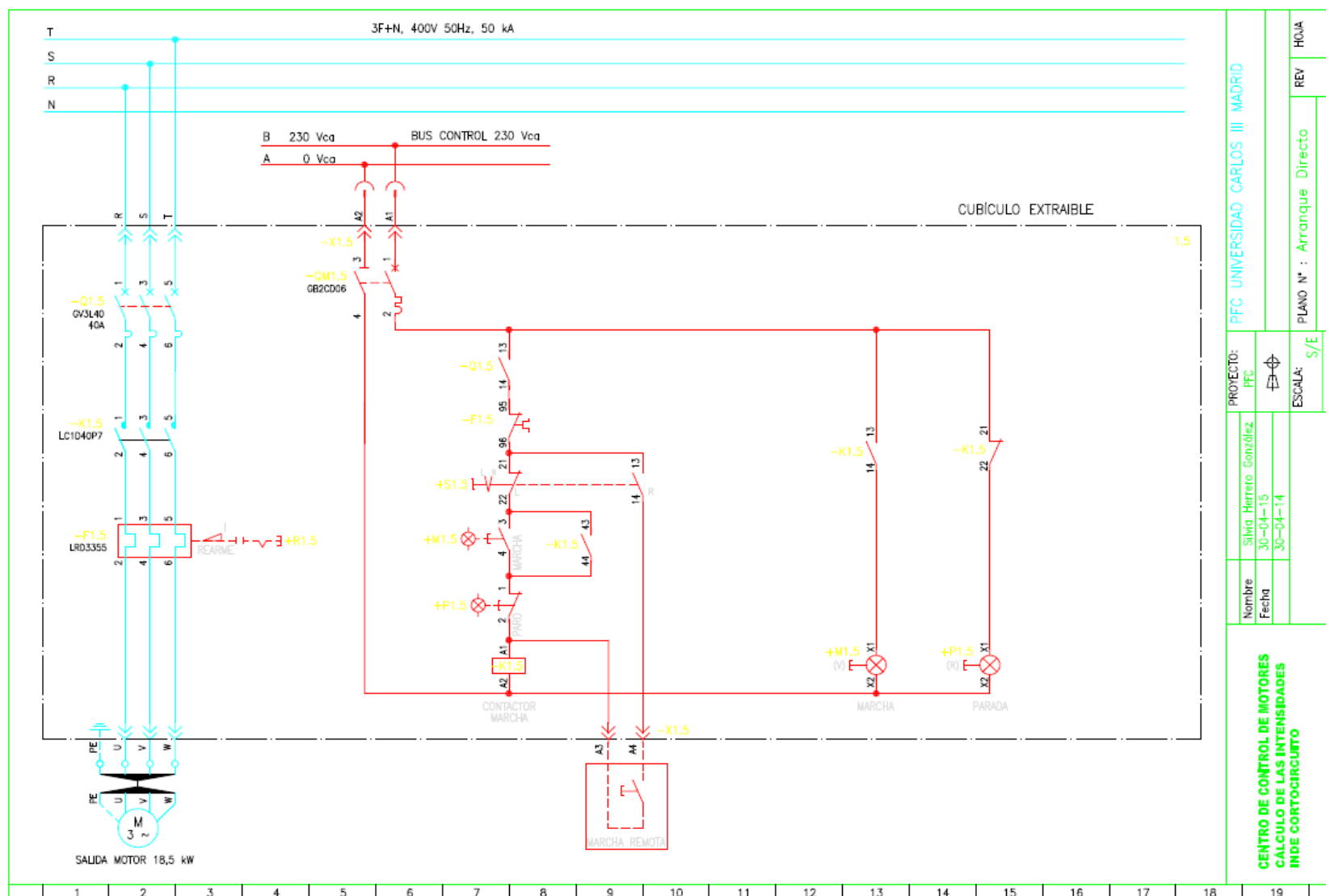


## 5.6. ESQUEMAS ELÉCTRICOS

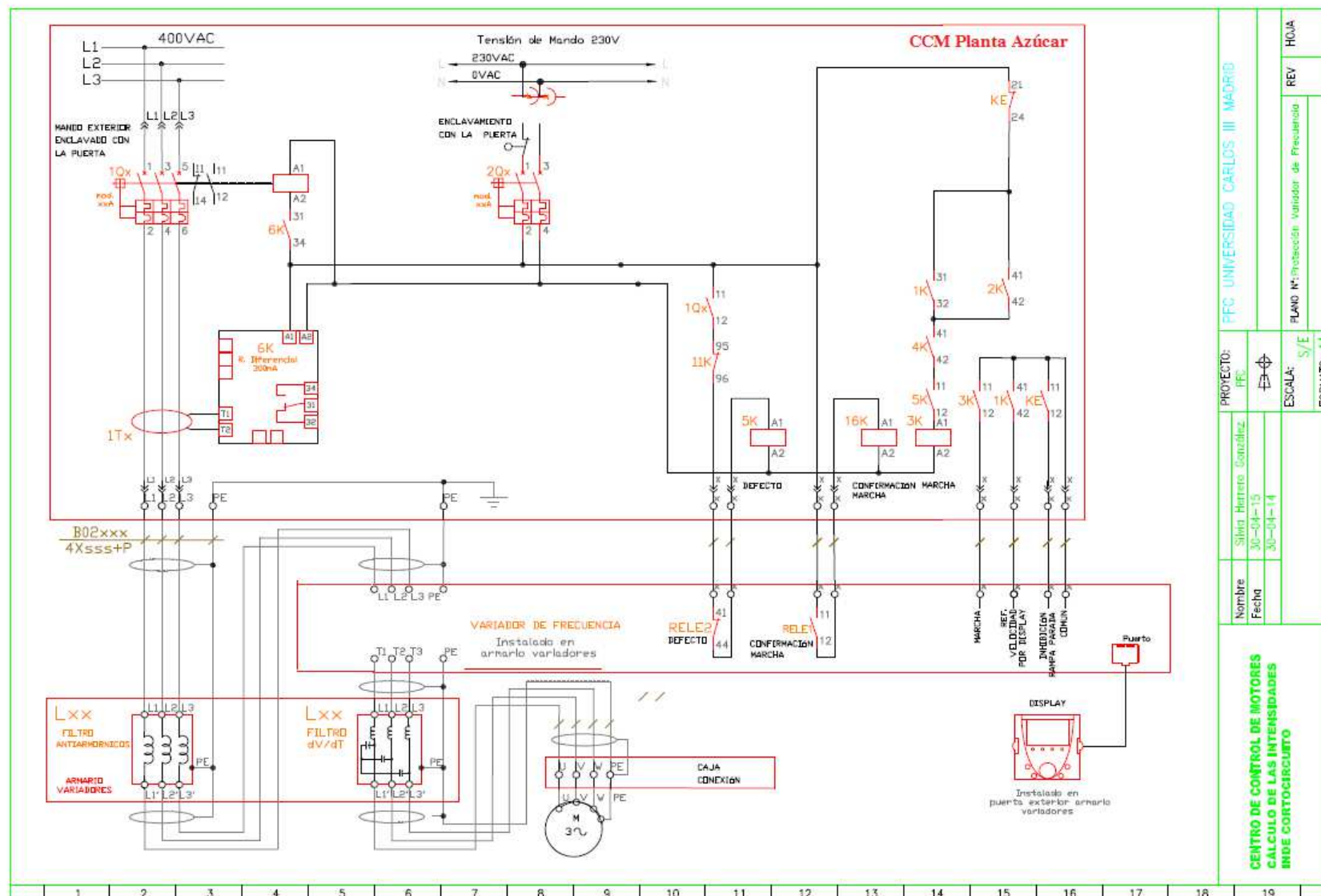
**(En documento anexo en formato electrónico)**

- 5.6.1.** Esquema tipo ACOMETIDA
- 5.6.2.** Arranque directo DOL\_1
- 5.6.3.** Variador de velocidad VSD
- 5.6.4.** Arranque progresivo SS
- 5.6.5.** Arranque inversor INV
- 5.6.6.** Maniobra AD



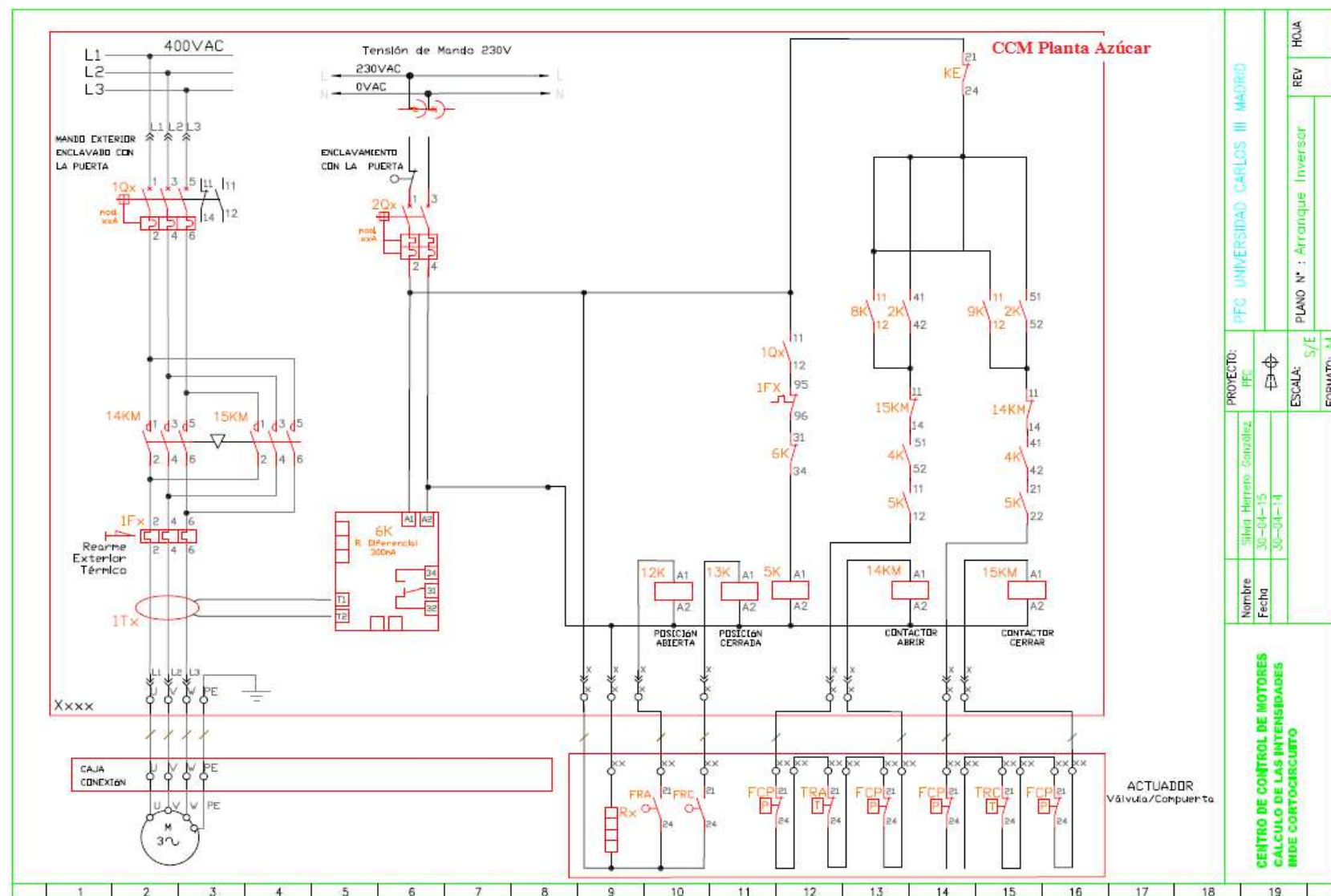


*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*



*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*





*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*





## 5.7. INSPECCIONES Y PRUEBAS

### 5.7.1. *Introducción.*

[18] La seguridad de los equipos eléctricos, dispositivos, conjuntos, sistemas, etc. juega un importante papel en la vida diaria. El abuso o el incorrecto diseño y construcción de los mismos puede causar daños materiales y lesiones en personas y animales. En el campo técnico, la reglamentación es en su mayor parte respaldada por la normalización. La Norma UNE-EN 61439 [5] marca las pautas en la inspección de los cuadros eléctricos, para su posterior certificación y marcado CE.

Con la creación de la Unión Europea, se procedió a una armonización de las reglamentaciones eléctricas de los Estados pertenecientes a ella, apoyándose en Normas Europeas armonizadas y Directivas UE (Directivas de Baja Tensión 73/23CEE y de Compatibilidad Electromagnética 89/336CEE en caso de equipamiento eléctrico).

La evidencia del cumplimiento de dichas Directivas para todo producto eléctrico es la colocación del marcado CE, condición indispensable para la comercialización de dicho producto en cualquier país de la UE.

Las disposiciones de seguridad son una parte importante de las normas generales y de producto en este campo. Son una combinación de requisitos según el ámbito de utilización, naturaleza del suministro eléctrico, etc. Es necesario aplicar las medidas de seguridad necesarias en la fase de diseño y construcción del producto, medidas normalmente extraídas de las normas del propio producto y/o productos relacionados.

Los requisitos de seguridad eléctrica en los cuadros eléctricos de baja tensión son tratados en las normas de la serie IEC / EN 61439: Conjuntos de aparamenta de baja tensión;

Parte 1: Requisitos para los conjuntos de serie y los conjuntos derivados de serie.

El capítulo 8 de la norma contiene el alcance y la definición de las pruebas requeridas. Los fabricantes de cuadros de B.T. Deberán asegurar el cumplimiento de dichas exigencias en base a:

1. Utilizar en sus cuadros únicamente productos que cumplan con los requisitos de las Directivas. Todo el conjunto de aparamenta y resto de componentes de montaje y conexión deben llevar el marcado CE.

2. Emisión de la Declaración de Conformidad CE, por parte del fabricante, o sea, el cuadrista que lleve a cabo el montaje del cuadro. Ésta deberá ser guardada durante un periodo de 10 años.

3. Realización de un Expediente Técnico, es decir una documentación técnica del cuadro en la que se describa las características básicas del cuadro y ensayos realizados, de tal modo que se garantice el cumplimiento de las Directivas CEM y BT.

Expediente Técnico y Declaración de Conformidad deberán estar siempre a disposición de cualquier organismo de control o inspección.

Marcado CE de cuadros eléctricos según la UNE-EN 61439 3.

El cuadro deberá llevar claramente indicado el nombre del fabricante, así como sus datos técnicos más importantes (marca, modelo, In, Icc, grado IP...) Se entiende como fabricante al cuadrista que ha realizado el montaje, aunque la responsabilidad se puede extender hasta la persona o sociedad que lo comercialice.

La Norma UNE-EN 61439-1 es una Norma Armonizada Europea, por tanto de obligado cumplimiento en todos los países de la UE.

Su cumplimiento da presunción de conformidad con las condiciones de seguridad establecidas en las Directivas aplicables a los cuadros: CEM y BT.

El marcado CE es, desde el punto de vista legal, una marca de seguridad de tipo obligatorio.

Con dicho marcado el fabricante o cuadrista que ha realizado el montaje autodeclara el cumplimiento de la UNE-EN 61439-1.

#### **5.7.2. Tipos de ensayos realizables**

Existen dos tipos según la IEC 61439 “Conjuntos de Aparata de Baja tensión”

Ensayos Tipo o de Diseño: sólo se comprueban una o unas pocas unidades del producto. Ensayos Iniciales realizados en productos nuevos. Son los únicos que pueden requerir una prueba dieléctrica con tensión 5kV, según tensión nominal. Sólo los realizan los fabricantes y, en este caso, hemos solicitado los certificados a Schneider Electric como prueba del cumplimiento de los mismos (anexo Certificado IEC61439 1&2).



## Certificat de conformité / certificate of conformity n° 078a-11BT

Annule et remplace le certificat de conformité / Cancels and replaces certificate of conformity N°078-11BT

**délivré à / issued to :** SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS

35, rue Joseph Monier  
92500 RUEIL MALMAISON  
FRANCE

**pour le matériel / for the apparatus :** Ensemble d'appareillage à basse tension / Low-voltage switchgear and controlgear assembly

**références / references :** OKKEN 230, 115, 115/70-2, 70-2 and 70-F

**constructeur / manufacturer :** SCHNEIDER ELECTRIC SA

**marque commerciale / trademark :** Schneider Electric

**selon le(s) référentiel(s) / according to standard(s) :**

CEI / IEC 61439-1 édition 1.0 (2009), CEI / IEC 61439-2 édition 1.0 (2009) :

Vérification de la construction / Verification of construction

- §10.2 Vérification de la résistance des matériaux et des parties : corrosion, matériaux isolants, levage / Verification of strength of materials and parts : corrosion, insulating materials, lifting
- §10.3 Vérification du degré de protection / Verification of degree of protection
- §10.4 Vérification des distances d'isolement et lignes de fuite / Verification of clearances and creepage distances
- §10.5 Vérification de l'efficacité du circuit de protection / Verification of the effectiveness of the protective circuit
- §10.6 Intégration des appareils de connexion et des composants / Incorporation of switching devices and components
- §10.7 Circuits électriques internes et connexions / Internal electrical circuits and connections
- §10.8 Bornes pour conducteurs externes / Terminals of external conductors

Vérification de la performance / Verification of performance

- §10.9 Vérification des propriétés diélectriques / Verification of dielectric properties
- §10.10 Vérification de l'échauffement / Verification of temperature-rise
- §10.11 Vérification de la tenue aux courts-circuits / Verification of short-circuit withstand strength
- §10.12 Compatibilité électromagnétique / Electromagnetic compatibility
- §10.13 Vérification du fonctionnement mécanique / Verification of mechanical operation

**caractéristiques assignées / rated characteristics :**

Voir en annexe / See annex

**document(s) pris en compte (s) / relevant document(s) :**

**Rapport (s) d'essai / Test report (s) :** 201006507\_001 du/dated 2011-04-18

(Rapport émis par le laboratoire homologué ASEFA L2E (F01) / Report issued by ASEFA approved laboratory L2E (F01))

Voir aussi la note en annexe / Refer also to the note in annex

Ce certificat ne s'applique qu'à l'échantillon soumis à l'essai de type / This certificate applies only to the sample submitted to the type test.

Fontenay-aux-Roses,  
Le / on : 2011-09-19

Le Président de l'ASEFA / The chairman of ASEFA,

Michel BRENON

La reproduction de ce certificat de conformité n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral / This certificate of conformity shall only be reproduced in the form of a complete photographic fac-simile.  
Certificat de conformité BT version E / Certificate of conformity BT version E

33, av du général leclerc  
92260 Fontenay-aux-roses – France  
tél. 01 40 95 61 02  
e-mail : asefa@lcie.fr



Accréditation  
n° 5-0037  
Portée disponible sur /  
Scope available on  
www.cofrac.fr

**Figura 29. Ejemplo de Certificado IEC 61439.**

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

Ensayos Individuales o de Rutina: realizados en todos y cada uno de los productos según salen de la cadena de producción. Los ensayos dieléctricos son con tensiones hasta 2,5kV, según tensión nominal.

Realizados por fabricantes y personal de mantenimiento, servicios técnicos, prescriptores, etc.

### **5.7.3. Ensayos de diseño**

#### **Ensayo 8-2-1: verificación de los límites de calentamiento.**

Se le aplica al cuadro los valores de la intensidad asignada, verificando que no se sobrepasen los límites de calentamiento especificados en el apartado 7.3 de la Norma. El objetivo de este ensayo es evitar posibles deterioros en contactos, niveles de aislamiento, disparo de protecciones, etc.

#### **Ensayo 8-2-2: verificación de las propiedades dieléctricas del conjunto.**

Se trata de verificar que el comportamiento del dieléctrico es correcto, tanto en el envoltente como en los circuitos internos del cuadro, para evitar el mal aislamiento entre partes activas y partes accesibles o bloques aislados. La prueba se realiza utilizando pistolas de seguridad, dado lo peligroso de las altas tensiones AC aplicadas.

#### **Ensayo 8-2-2-2: ensayo de las envoltentes fabricadas con material aislante.**

Se debe aplicar la tensión de ensayo entre “una hoja metálica colocada en el exterior de la envoltente, por encima de aberturas y juntas, y las partes activas y masas en el interior de la envoltente, cerca de las aberturas y las juntas”

#### **Ensayo 8-2-2-3: ensayo de las empuñaduras de maniobra exteriores de material aislante.**

Se debe aplicar la tensión de ensayo entre “las partes activas y una hoja de metal arrollada alrededor de la empuñadura”.

Durante este ensayo el chasis no debe estar unido a tierra ni a ningún otro circuito.

#### **Ensayo 8-2-2-4: aplicación de la tensión de ensayo entre las partes activas.**

Se debe aplicar la tensión de ensayo entre:

“todas las partes activas y las masas interconectadas del conjunto”.

“cada polo y los demás polos conectados a las masas interconectadas del conjunto”.

Tensión asignada de aislamiento  $U_i$  (V)

Tensión de ensayo dieléctrico (V)

$U_i \leq 60$  1.000

$60 < U_i \leq 300$  2.000

$300 < U_i \leq 660$  2.500

$$660 < U_i \leq 800 \quad 3.000$$

$$800 < U_i \leq 1000 \quad 3.500$$

Duración y escalonado de la tensión de ensayo:

“la tensión de ensayo en el momento de la aplicación no debe sobrepasar el 50% del valor designado. A continuación debe aumentarse progresivamente en algunos segundos para alcanzar el valor completo especificado, y mantenerse durante 1 minuto”.

#### **Ensayo 8-2-3: verificación de la resistencia a los cortocircuitos.**

El fabricante del cuadro debe asegurarse de que en caso de cortocircuito en el exterior o interior del cuadro, éste soportará los esfuerzos provocados.

Para el ensayo se hace “circular la intensidad prevista de cortocircuito especificada por el fabricante, hasta que sea interrumpida por el dispositivo de protección”.

Tras el ensayo “los conductores no deben presentar deformaciones inaceptables. Las distancias de aislamiento entre barras deben ser respetadas. El aislamiento de los conductores y los soportes aislantes no deben presentar signos apreciables de deterioro, es decir, que las características esenciales de aislamiento permanecerán tales que las propiedades mecánicas y dieléctricas del conjunto cumplan con la Norma”

#### **Ensayo 8-2-4: verificación del circuito de protección**

##### **Ensayo 8-2-4-1: verificación de la conexión efectiva (continuidad) entre las masas del conjunto y el circuito de protección.**

Corriente de ensayo: 10A

Tiempo de ensayo: 10 segundos (mínimo)

Resistencia límite:  $0,1\Omega$

Se debe comprobar la efectividad de todas las conexiones del circuito de protección del cuadro, en base a los parámetros arriba indicados.

##### **Ensayo 8-2-4-2: verificación de la resistencia a los cortocircuitos del circuito de protección.**

“Se efectuará, mediante una conexión atornillada, un cortocircuito entre los bornes de salida de cada fase y el borne de salida del conductor de protección de ese circuito. El chasis del conjunto deberá estar aislado de tierra durante el ensayo.”

“Todas las demás condiciones deberán ser análogas a las del apartado 8.2.3.2”

**Ensayo 8-2-5: verificación de las distancias de aislamiento y líneas de fuga.**

“Se deben verificar que dichas distancias estén de acuerdo con los valores especificados en el apartado 7.1.2.”

**Ensayo 8-2-6: verificación del funcionamiento mecánico.**

“Para las partes que deban ser sometidas a un ensayo de tipo, el funcionamiento mecánico satisfactorio debe ser verificado después de su montaje en el conjunto. El número de ciclos de maniobra será de 50.”

**Ensayo 8-2-7: verificación del grado de protección.**

La Norma especifica un grado Ipxx y un grado Ikxx.

**5.7.4. Ensayos individuales****Ensayo 8-3-1: inspección de los conjuntos, incluyendo el cableado, y en caso necesario, ensayos de funcionamiento eléctrico.**

Inspección visual del grado de protección, distancias de aislamiento y líneas de fuga.

Verificación de la eficacia de los elementos de mando.

Verificación de marcas y placas características.

**Ensayo 8-3-2: ensayo dieléctrico**

Se aplicará la tensión de ensayo durante 1 segundo.

Se aplicará la tensión de ensayo entre todas las partes activas y el chasis del conjunto.

“Se considerará el ensayo satisfactorio si no se produce perforación o contorneo”.

**Ensayo 8-3-3: verificación de las medidas de protección y de la continuidad eléctrica de los circuitos de protección.**

“Se comprobarán las medidas de protección contra contactos directos e indirectos”.

“Los circuitos deberán verificarse mediante inspección para asegurar que están aplicadas las medidas del apartado 7.4.3.1.5. En particular deberá verificarse el contacto satisfactorio de las conexiones, especialmente las atornilladas”.

Corriente de ensayo: 10A

Tiempo de ensayo: 5 segundos

Resistencia límite:  $0,1\Omega$

### Ensayo 8-3-4: verificación de la resistencia de aislamiento.

“Se efectuará una medida de aislamiento mediante un aparato medidor de aislamiento, con una tensión mínima de 500V”.

“El ensayo se considerará satisfactorio si la resistencia de aislamiento entre los circuitos, y entre ellos y las masas es como mínimo de  $1.000 \Omega/V$ ”.

No es necesario efectuarlo si se ha hecho previamente la prueba de rigidez dieléctrica.

Tiempo de ensayo recomendado: 1 min.

“Los componentes que, de acuerdo con sus prescripciones específicas, son consumidores de corriente (por ejemplo arrollamientos, aparatos de medida) durante la tensión de ensayo, deberán desconectarse de uno o ambos extremos”.

Para el CCM objeto de este proyecto se llevaron a cabo estos ensayos de rutina a modo de verificaciones destinadas para detectar fallos en los materiales, o de montaje y asegurar el correcto funcionamiento del conjunto fabricado (se adjunta hoja de *Plan Control de Calidad* según el fabricante Schneider Electric)

Verificación Individual	Inspección Visual	Ensayos
Grado protección envolventes	x	
Distancias aislamiento	x	Si D < valor (14mm): ensayo tensión soportad impulso Si D < 1,5x valor (21mm): medida o ensayo
Líneas de fuga	x	Si D > 1,5 x valor : inspección visual o ensayo
Protección contra choque eléctrico e integridad de circuitos protección	x	Verificación aleatoria de tornillos y conexiones atornilladas para verificar par apriete
Integración de componentes incorporados	x	Acuerdo instrucciones montaje del CONJUNTO
Circuitos eléctricos internos y conexiones	x	Verificación aleatoria par apriete. Conductores acuerdo instrucciones montaje
Bornes para conductores externos		Número, tipo e identificación de los bornes
Funcionamiento mecánico		Efectividad de los elementos mecánicos de mando, enclavamientos y cierres
Propiedades dieléctricas		Ensayo a frecuencia industrial o verificación resistencia aislamiento (hasta 250A)
Cableado, comportamiento de empleo y funcional	x	Verificación completa de la información & marcas, inspección cableado y ensayo funcional eléctrico si relevante

**Tabla 6. Verificación individual del CCM**



## 6. PRESUPUESTO

### 6.1. PRESUPUESTO DE LA APARAMENTA

En el siguiente apartado se realizará un presupuesto completo del diseño, montaje, material del CCM así como su transporte a las instalaciones de Jerez de la planta de azúcar. Para ello se ha pedido presupuesto a Schneider Electric, como fabricante de cuadros de la aparamenta, según el listado anterior definido (Anexo. Listado Costes\_Aparamenta)

CUADRO	COLUMNA	Unid. Funcional	REF	DES	CANTID.	PRECIO UNIT	CONVERSION	TOTAL
CCM Azucarera Jerez	1		TI503101	PORTE PLANS SAREL REF:21323	1	2.04 €	1	2.04 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00033751	CONNECTED POSITION CONTACT	1	7.10 €	1	7.10 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00048294	APARATO BASE NW 2000 A H1 4P A	1	1,633.82 €	1	1,633.82 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00048405	CHASIS NW 2000 N/H 4P	1	1,007.94 €	1	1,007.94 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00048589	PANTALLAS AISLANTES 4P 800-400	1	11.10 €	1	11.10 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00048603	MARCO DE PUERTA NW SECCIONABLE	1	12.92 €	1	12.92 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00048358	U. C. MICROLOGIC 2.0 A PARA NW	1	177.32 €	1	177.32 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00048514	2    MX 200/250 VCA/VCC PARA NW	1	40.16 €	1	40.16 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	TI12661800D	TI SACI CL1 - SVA 2000/5 TA4	4	82.06 €	1	328.24 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00056054	VIGIREX RECT SENSOR 470x160mm	1	1,306.56 €	1	1,306.56 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00056273	RH99P 220/240V AC 50/60/400HZ	1	71.60 €	1	71.60 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00021108	P25M 3P 6.3A	1	14.44 €	1	14.44 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00021117	INST.AUXILSWITCH P25M 1NO+1NC	1	2.26 €	1	2.26 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	AX11H021AI	Piloto Luminoso LED	2	3.56 €	1	7.12 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	AX11H021E2	BLOQUE TEST PILOTO LUM. 230V	2	12.88 €	1	25.76 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	AX11H20P00	LABEL HOLDER 30*40 ZBZ-32	2	0.18 €	1	0.36 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	RA192804I	RELTEC INST 1804 50HZ 220V	3	4.54 €	1	13.62 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	RA199846	SOCKET FRONT CABLING W. CLAMPS	3	1.40 €	1	4.20 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	RA199881	CLAMP FOR INST.AND LATCH. RELA	3	0.18 €	1	0.54 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00024199	IC60N 2P 4A C	2	7.10 €	1	14.20 €
CCM Azucarera Jerez	1	(28/0)	00024173	IC60N 1P 4A C	1	3.56 €	1	3.56 €
CCM Azucarera Jerez	2	(72/0)	00056273	RH99P 220/240V AC 50/60/400HZ	1	71.60 €	1	71.60 €
CCM Azucarera Jerez	2	(72/0)	00024199	IC60N 2P 4A C	2	7.10 €	1	14.20 €
CCM Azucarera Jerez	2	(72/0)	RA192804I	RELTEC INST 1804 50HZ 220V	4	4.54 €	1	18.16 €
CCM Azucarera Jerez	2	(72/0)	RA199846	SOCKET FRONT CABLING W. CLAMPS	4	1.40 €	1	5.60 €
CCM Azucarera Jerez	2	(72/0)	RA199881	CLAMP FOR INST.AND LATCH. RELA	4	0.18 €	1	0.72 €
CCM Azucarera Jerez	2	(72/0)	AX11H021AI	Piloto Luminoso LED	2	3.56 €	1	7.12 €
CCM Azucarera Jerez	2	(72/0)	AX11H021E2	BLOQUE TEST PILOTO LUM. 230V	2	12.88 €	1	25.76 €
CCM Azucarera Jerez	2	(72/0)	AX11H20P00	LABEL HOLDER 30*40 ZBZ-32	2	0.18 €	1	0.36 €
CCM Azucarera Jerez	2	(72/0)	AX11H020A1	CONT. 1F ZB5-AZ101	2	1.14 €	1	2.28 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	RA199846	SOCKET FRONT CABLING W. CLAMPS	1	1.40 €	1	1.40 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	RA199881	CLAMP FOR INST.AND LATCH. RELA	1	0.18 €	1	0.18 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	00029450	1 AUX.SW C/O CONT OF/SDE/SDV	1	2.48 €	1	2.48 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	LV429338	EXTENDED STANDARD ROTARY HANDL	1	11.56 €	1	11.56 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	CT110200A2	CONT. S/BOB 3POL LC1-F185 (FG)	1	125.32 €	1	125.32 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	CT110270G5	COIL LX1F TO 230VAC AT50HZ	1	16.12 €	1	16.12 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	LV431404	3P NSX250H	1	52.26 €	1	52.26 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	LV431500	3P3D MA220 TRIP UNIT	1	17.24 €	1	17.24 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	RP11032A05	OVERLOAD REL 0.63-1A	1	7.08 €	1	7.08 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	TI120201	FIXING ANGLE 2P,2M,2G-MB,GB	3	10.40 €	1	31.20 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	TI12411240	TI's para rele termico/3CRT S1	3	113.34 €	1	340.02 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	TI12261200	TI SACI CL1 - SVA 200/5 2P STA	1	25.36 €	1	25.36 €
CCM Azucarera Jerez	5	(09/0)	CT1150031V	BLOC LAD-N31	1	4.00 €	1	4.00 €
								41,359.48 €

**Tabla 7. Listado coste de Aparamenta**

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*



## 6.2. PRESUPUESTO DE LA ENVOLVENTE

Se ha realizado, con el software Powerfix del fabricante Schneider Electric, un listado de chapas que sirva de envoltorio del cuadro definido en este proyecto (Anexo en formato electrónico. *Listado Costes\_Chapa* )

VARIANTE	COLUMNA	UNID. FUNCIONAL	REFERENCIA	DESCRIPCION	CANTID.	PRECIO UNIT.	CONVERSION	TOTAL
CCM Azucarera Jerez			87067	2 UPPER BAND SUPPERS NP	1.0000	4.02 €	1.00	4.02 €
CCM Azucarera Jerez	1		87000	2 ESTRUCTURAS A2350 P600	2.0000	82.88 €	1.00	165.75 €
CCM Azucarera Jerez	1		87007	4 LARGUEROS L650	1.0000	29.31 €	1.00	29.31 €
CCM Azucarera Jerez	1		87007	4 LARGUEROS L650	1.0000	29.31 €	1.00	29.31 €
CCM Azucarera Jerez	1		87004	1 PEDESTAL P600	2.0000	20.38 €	1.00	40.77 €
CCM Azucarera Jerez	1		87184	200 SOCKET HD SCR/FRAME PLINTH	8.0000	0.12 €	200.00	0.92 €
CCM Azucarera Jerez	1		87055	4 OFF-IP3X GRILL FOR L650 FRAM	2.0000	18.98 €	1.00	37.97 €
CCM Azucarera Jerez	1		87063	UPPER BAND L650 NP	2.0000	6.57 €	1.00	13.14 €
CCM Azucarera Jerez	1		87143	200 PAN AND TOP GRIDS SUPPORTS	8.0000	0.18 €	200.00	1.43 €
CCM Azucarera Jerez	1		87144	50 BOTTOM GRIDS SUPPORTS	8.0000	0.77 €	50.00	6.16 €
CCM Azucarera Jerez	1		87020	PLACAS SEPARACION FORMA2 L650	1.0000	63.85 €	1.00	63.85 €
CCM Azucarera Jerez	1		87022	PLACA DE COMPARTIMIENTO LATERAL	1.0000	45.11 €	1.00	45.11 €
CCM Azucarera Jerez	1		87162	BOTTOM PLATE L650 D600	1.0000	27.91 €	1.00	27.91 €
CCM Azucarera Jerez	1		87015	INTER CUB BARRIER H2350 D600	1.0000	33.08 €	1.00	33.08 €
CCM Azucarera Jerez	1		87011	4 ANILLOS DE ELEVACION	1.0000	13.92 €	1.00	13.92 €
CCM Azucarera Jerez	1		87029	FONCTIONNAL ROOF 50M GASKET	1.0000	1.79 €	50.00	1.79 €
CCM Azucarera Jerez	1		87033	TOP PLATE L650 D600	1.0000	16.17 €	1.00	16.17 €
CCM Azucarera Jerez	1		87033	TOP PLATE L650 D600	1.0000	16.17 €	1.00	16.17 €
CCM Azucarera Jerez	1		87046	50M JUNTA ESTANQUEIDAD TECHO I	1.2000	2.50 €	50.00	3.00 €
CCM Azucarera Jerez	1		87046	50M JUNTA ESTANQUEIDAD TECHO I	2.0000	2.50 €	50.00	5.00 €
CCM Azucarera Jerez	1		87047	REAR PANEL H2350 L650	1.0000	63.78 €	1.00	63.78 €
CCM Azucarera Jerez	1		87047	REAR PANEL H2350 L650	1.0000	63.78 €	1.00	63.78 €
CCM Azucarera Jerez	1		87143	200 PAN AND TOP GRIDS SUPPORTS	6.0000	0.18 €	200.00	1.07 €
CCM Azucarera Jerez	1		87143	200 PAN AND TOP GRIDS SUPPORTS	6.0000	0.18 €	200.00	1.07 €
CCM Azucarera Jerez	1		08910	TRENZA DE MASA 6mm2	1.0000	1.98 €	1.00	1.98 €
CCM Azucarera Jerez	1		87111MI	LHS LOCK COMP DOOR H2350L650 P	1.0000	104.17 €	1.00	104.17 €
CCM Azucarera Jerez	1		87138	10 ANG BRACK / DO BOTTOM L650	1.0000	1.80 €	10.00	1.80 €
CCM Azucarera Jerez	1		87142	50 FIXED HINGES WITH PIN	3.0000	0.71 €	50.00	2.13 €
CCM Azucarera Jerez	1		87146	20 MARKABLE HANDLES	1.0000	0.74 €	20.00	0.74 €
CCM Azucarera Jerez	1		87150	200 DOOR STOPS	1.0000	0.26 €	200.00	0.26 €
CCM Azucarera Jerez	1		87157	200 LOWER DOOR STOPS	1.0000	0.12 €	200.00	0.12 €
CCM Azucarera Jerez	1		87666	1 HANDLE WITHOUT BARREL	3.0000	5.92 €	1.00	17.77 €
CCM Azucarera Jerez	S	(18/0)	87438MI	DRAWER PLAIN FFACE 24M P	1.0000	26.88 €	1.00	26.88 €
CCM Azucarera Jerez	S	(18/0)	87452	24 FP FOR 6-POINTS AUX BLOCKS	2.0000	12.09 €	24.00	24.18 €
CCM Azucarera Jerez	S	(18/0)	87453	24MP FOR 6-POINTS AUX BLOCKS	2.0000	4.14 €	24.00	8.29 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87364	Pinzas de entrada 3P 250A	1.0000	25.02 €	1.00	25.02 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87368	Pinzas de salida 3P 250A	1.0000	24.86 €	1.00	24.86 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87372	CONNECTION SUPPORT 250A 3P	2.0000	3.68 €	1.00	7.35 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87376	DRAWER FIXED PART/ 6M 3P	1.0000	30.05 €	1.00	30.05 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87424	FIXED PA 6 M ADD/MCC DRAWER	3.0000	10.74 €	1.00	32.22 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87430	FIX PART DRAWER ACCESSORIES	1.0000	5.42 €	1.00	5.42 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87526	DCBRACKET FCFOR NS250 3P 6M	1.0000	3.08 €	1.00	3.08 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87384	DRAWER POSITION MECH	1.0000	6.71 €	1.00	6.71 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87415	6M MOBILE PART ADDITION	3.0000	25.89 €	1.00	77.68 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87431	MOV PART DRAWER ACCESSORIES	1.0000	7.74 €	1.00	7.74 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87450	DRAWER MOV PART-6M 250A 3P	1.0000	41.15 €	1.00	41.15 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87387	POLYFAST NS250 3P DRAWER MCC	1.0000	64.82 €	1.00	64.82 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87459	MP FOR LC1 F185/F225	1.0000	7.58 €	1.00	7.58 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87788	MECH. LOCK/NS250 3P-NS80 DRAW	1.0000	14.26 €	1.00	14.26 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87147	50 INTERNAL LABEL HOLDERS	1.0000	0.27 €	50.00	0.27 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87518	10 HORIZ BARRIERS / FORM4 LC	1.0000	1.73 €	10.00	1.73 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87400	2 HANDLES+UNLOCK KNOB/DRAWER	1.0000	5.85 €	1.00	5.85 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87410	5 DRAW FRONTFACE HINGES >= 12M	1.0000	9.38 €	5.00	9.38 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87438MI	DRAWER PLAIN FFACE 24M P	1.0000	26.88 €	1.00	26.88 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87452	24 FP FOR 6-POINTS AUX BLOCKS	2.0000	12.09 €	24.00	24.18 €
CCM Azucarera Jerez	S	(09/0)	87453	24MP FOR 6-POINTS AUX BLOCKS	2.0000	4.14 €	24.00	8.29 €
								19,996.22 €
								TOTAL

**Tabla 8.** Listado coste de Chapa y Soportes

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

### 6.3. PRESUPUESTO DE LAS BARRAS DE COBRE

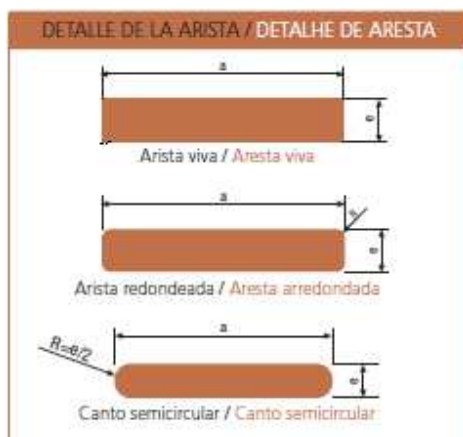
Realizamos un breve estudio de cotización del cobre

Cobre (CU) para Cuadros Eléctricos según la normativa EN 13601 “Cobre y aleaciones de cobre. Barras y alambres de cobre para usos eléctricos generales”.

El Cobre como materia prima cotiza a diario en la Bolsa de Metales de Londres, LME ([www.lme.com](http://www.lme.com)) habiendo cada día 3 cierres de precio (10:30 / 12:30 / 13:30 h ) que marcan el precio de compra de los fabricantes que transforman el material para usos industriales y eléctricos, en nuestro caso en pletinas de CU.

En España como principales fabricantes que manufacturan el cobre encontramos dos empresas GINDRE TORNOS e INTERNATIONAL BRONMETAL teniendo ambas presencia a nivel mundial.

Las características principales de las pletinas para los cuadros eléctricos son pletinas de 5 metros de longitud lo cual permite adaptar el cobre a la altura necesaria para el mecanizado de las barras, de dureza intermedia R250 lo cual permite una mayor tolerancia de las pletinas a ser dobladas proporcionando un mayor ángulo y arista redondeada.



**Figura 30. Detalle aristas de pletinas de cobre.**

El precio final de compra de las pletinas de CU se valora en €/kg, para conocer los kilos que corresponderían a cada sección se calcula de esta forma, siendo la densidad del cobre de 8,96 g/cm<sup>3</sup>:

FORMULA: (Ancho x espesor x 8,96) / 1000 = Kg / Metro  
 FÓRMULA: ((A) Longura x (B) Espessura x 8,96) / 1000 = Kg / Metro

El precio por kilo a contratar se calcula con esta fórmula:

LME + costes de venta de fabricante

LME.- Es el precio fijado en la bolsa, es el coste fijo que paga todo el mundo para la adquisición de CU en bruto.

Costes de venta del fabricante: Estos costes a diferencia del LME son variables en función del vendedor y de las cantidades de Kilos que se compren y está compuesto por:

Costes de Manipulado del CU.- Transformación del CU en bruto en pletinas de las distintas secciones.

Costes de embalaje.- Las pletinas se transportan arcones de madera, flejadas para evitar que se desplacen y se puedan golpear y con una protección plástica para evitar que entren en contacto con líquidos y otras sustancias.

Costes de Transporte.- Costes de trasladar la mercancía desde las fábricas del vendedor a las instalaciones del fabricante de cuadros.

Costes de Margen Comercial.- % de beneficios del vendedor sobre el producto.

Los costes de venta de fabricante oscilan entre 0,50 y 0,80 €/kg, en función de los kilos a contratar y de los costes que tenga cada fabricante.

Por lo que para el presente proyecto se tendrá en cuenta un valor de LME de 7 €/kg más un 0,70 €/kg de costes del fabricante, obteniendo un total de **7,7 €/kg**.

Se ha calculado un listado del total de barras de cobre empleadas (JdB principal, objeto de este proyecto, JdB vertical, links de unión) ( Anexo en formato electrónico *Listado pletinas de Cobre*)

Descripción	N° plano Fabricante Schneider	Cant.	Sección			Long. mm.	Peso Kg.
<b>JdBH W650-650 3P 3B/PH columna 1</b>	10875	1	40	x	10	1,300	4.6
Link JdBH-JdBV	4692013	3	100	x	10	75	2.0
JdBV H2350 80X10 N-Ph1	4692689	1	100	x	10	1,969	17.6
JdBV H2350 80X10 Ph2-Ph3	4692690	2	100	x	10	2,140	38.2
JdBPE RAL 650 40x5 B_A	4692017	2	40	x	5	762	2.7
JdBPE RAL e115 40x5 B_I	4692035	1	40	x	5	149	0.3
JdBPE RAL 115 40X5	4692871	1	40	x	5	1,700	3.0
Link JdBV-Acom	4692100	8	100	x	10	247	17.6
Link JdBV-Acom Ph1	4692160	2	80	x	10	325	4.6
Link JdBV-Acom Ph2	4692161	2	80	x	10	365	5.2
Link JdBV-Acom Ph3	4692162	2	80	x	10	240	3.4
Link JdBV-Acom	4692163	8	80	x	10	550	31.4
Link JdBV-Acom N	4692168	2	80	x	10	450	6.4
Link JdBV-Acom Ph1-3	4692183	8	50	x	10	360	12.9
Link JdBV-Acom N-Ph2	4692184	8	50	x	10	485	17.3
Link JdBV-Acom N-Ph1-2-3/ B_A	4692197	4	80	x	10	711	20.3
Link JdBV-Acom N-Ph1-2-3/ B_B	4692198	4	80	x	10	731	20.9
<b>JdBH W650-450 3P 3B/PH columna 2</b>	10851	1	40	x	10	1,100	3.9
Link JdBH-JdBV N-Ph3	4692014	1	100	x	10	163	1.5
Link JdBH-JdBV Ph2-Ph3	4692016	2	100	x	10	103	1.8
Link JdBH-JdBH	4692038	3	100	x	10	60	1.6
JdBV H2350 80X10 N-Ph1	4692071	1	80	x	10	1,963	14.0
JdBV H2350 80X10 Ph2-Ph3	4692072	2	80	x	10	2,134	30.5
JDB PE L 650 40x5 B_A	4692017	1	40	x	5	762	1.4
JDB PE L 450 40x5 B_D	4692020	1	40	x	5	562	1.0
JDB PE L 2350 40x5 B_E	4692025	1	40	x	5	1,700	3.0
JDB PE RAL e115 40x5 B_I	4692035	1	40	x	5	149	0.3
Link JdBV-SalidaNSX1	11037	1	20	x	5	833	0.7
Link JdBV-SalidaNSX2	11037	1	20	x	5	833	0.7
<b>JdBH W650-450 3P 3B/PH columna 3</b>	10851	1	40	x	10	1,100	3.9
Link JdBH-JdBV N-Ph3	4692014	1	100	x	10	163	1.5
Link JdBH-JdBV Ph2-Ph3	4692016	2	100	x	10	103	1.8
Link JdBH-JdBH	4692038	3	100	x	10	60	1.6
JdBV H2350 80X10 N-Ph1	4692071	1	80	x	10	1,963	14.0
JdBV H2350 80X10 Ph2-Ph3	4692072	2	80	x	10	2,134	30.5
JDB PE L 650 40x5 B_A	4692017	1	40	x	5	762	1.4
JDB PE L 450 40x5 B_D	4692020	1	40	x	5	562	1.0
JDB PE L 2350 40x5 B_E	4692025	1	40	x	5	1,700	3.0
JDB PE RAL e115 40x5 B_I	4692035	1	40	x	5	149	0.3
<b>JdBH W650-450 3P 3B/PH columna 4</b>	10851	1	40	x	10	1,100	3.9
Link JdBH-JdBV N-Ph3	4692014	1	100	x	10	163	1.5
Link JdBH-JdBV Ph2-Ph3	4692016	2	100	x	10	103	1.8
Link JdBH-JdBH	4692038	3	100	x	10	60	1.6
JdBV H2350 80X10 N-Ph1	4692071	1	80	x	10	1,963	14.0
JdBV H2350 80X10 Ph2-Ph3	4692072	2	80	x	10	2,134	30.5
JDB PE L 650 40x5 B_A	4692017	1	40	x	5	762	1.4
JDB PE L 450 40x5 B_D	4692020	1	40	x	5	562	1.0
JDB PE L 2350 40x5 B_E	4692025	1	40	x	5	1,700	3.0
JDB PE RAL e115 40x5 B_I	4692035	1	40	x	5	149	0.3
Link JdBV-SalidaNSX1	11037	1	20	x	5	833	0.7
Link JdBV-SalidaNSX2	11037	1	20	x	5	833	0.7
<b>JdBH W650-450 3P 3B/PH columna 5</b>	10851	1	40	x	40	1,100	15.7
Link JdBH-JdBV N-Ph3	4692014	1	100	x	10	163	1.5
Link JdBH-JdBV Ph2-Ph3	4692016	2	100	x	10	103	1.8
Link JdBH-JdBH	4692038	3	100	x	10	60	1.6
JdBV H2350 80X10 N-Ph1	4692071	1	80	x	10	1,963	14.0
JdBV H2350 80X10 Ph2-Ph3	4692072	2	80	x	10	2,134	30.5
JDB PE L 650 40x5 B_A	4692017	1	40	x	5	762	1.4
JDB PE L 450 40x5 B_D	4692020	1	40	x	5	562	1.0
JDB PE L 2350 40x5 B_E	4692025	1	40	x	5	1,700	3.0
JDB PE RAL e115 40x5 B_I	4692035	1	40	x	5	149	0.3
Link JdBV-SalidaNSX1	11037	1	20	x	5	833	0.7
Link JdBV-SalidaNSX2	11037	1	20	x	5	833	0.7
Link JdBV-SalidaNSX3	11037	1	20	x	5	833	0.7
Link JdBV-SalidaNSX4	11037	1	20	x	5	833	0.7
Link JdBV-SalidaNSX5	11037	1	20	x	5	833	0.7
Link JdBV-SalidaNSX6	11037	1	20	x	5	833	0.7
Link JdBV-SalidaNSX7	11037	1	20	x	5	833	0.7
Link JdBV-SalidaNSX8	11037	1	20	x	5	833	0.7
							<b>465.4</b>
							<b>TOTAL KG</b>

**Tabla 9. Cálculo del peso total de pletinas de cobre**

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*

#### 6.4. PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA Y TRANSPORTE

Se ha solicitado un presupuesto de estudios de diseño y delineación de planos al fabricante de cuadros eléctricos Schneider Electric

HORAS ESTUDIOS X COLUMNA* 41€/hora		
CCM STANDARD		22
CCM COMPLEJO		24
DISTRIBUCIÓN STANDARD		18
DISTRIBUCION COMPLEJO		20
* Incluye horas de listados de materiales, logística, gestión del P. Manager		
DELINIACION X COLUMNA*		
SUBCONTRATACIÓN CCCM/DIST STANDARD		70.00 €
SUBCONTRATACIÓN CCM/DIST COMPLEJO		100.00 €


**Tabla 10. Costes de Estudio de diseño y delineación por Schneider Electric**

Consideramos el CCM objeto de este proyecto como estándar ya que no posee una complejidad elevada al tratarse de una configuración dentro de valores normales de temperatura ambiente, compartimentación, ubicación, material empleado...etc.

Coste Estudio: 5 columnas x 22 horas x 41€/hora = 4510 € (incluirá las horas de diseño, sacar listado de materiales, logística y gestión de un Jefe de Proyecto)

Coste Delineación de planos: 5 columnas x 70€ = 350 €

Se ha solicitado presupuesto a Cuamelec, S.L para el montaje y pequeño material auxiliar del CCM (Anexo hoja de presupuesto *Oferta Montaje CCM Planta de Azúcar*).

 <b>CUAMELEC, S.L</b> CUADROS DE MEDIDA ELECTRICA		Pol.Ind. Los Gallegos C/ Gavilan, 36 28946 Fuenlabrada – Madrid Tfno.91 642 02 70 Fax. 91 642 27 79
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; position: relative;"> <div style="position: absolute; top: 0; right: 0; width: 20px; height: 20px; border-top: 1px solid black; border-right: 1px solid black;"></div> <div style="position: absolute; bottom: 0; right: 0; width: 20px; height: 20px; border-bottom: 1px solid black; border-right: 1px solid black;"></div> </div> <p style="text-align: center;"><b>Att.- Dña. Silvia Herrero</b></p>		
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; position: relative;"> <div style="position: absolute; top: 0; right: 0; width: 20px; height: 20px; border-top: 1px solid black; border-right: 1px solid black;"></div> <div style="position: absolute; bottom: 0; right: 0; width: 20px; height: 20px; border-bottom: 1px solid black; border-right: 1px solid black;"></div> </div>		
S / Ref. :	Fecha:	N / Ref OF.2529.2      Fecha : 01/09/2015
<b>Asunto</b> PROYECTO CCM PLANTA DE AZÚCAR		
<p>Muy Sres. nuestros:</p> <p style="padding-left: 40px;">Les pasamos presupuesto para el suministro de materiales auxiliares y mano de obra de montaje, fabricación de conexiones de pletina de cobre y cableado de:</p> <p><b>1 CUADRO ELÉCTRICO CCM</b></p> <p>5 Columnas; 1 de 1300mm y 4 de 1100mm</p> <p>JdBH 3. 2000 A. 3 fases, neutro y tierra, recubrimiento del cobre – desnudo, tensión asignada de empleo 400 V., frecuencia 50 Hz, tensión de control externa 230 V., tensión de control interna 24 Vcc., corriente de cortocircuito 50 KA., índice de protección IP31 e índice de forma 3B, equipadas por el material detallado en su documentación.</p> <p>El suministro de materiales incluye canaleta, cable y mangueras de distintas secciones libre de halógeno, terminales, marcadores de cables y equipos, tornillería, rótulos y otros materiales auxiliares.</p> <p>Importe total oferta .... 12.150,00 euros.</p>		

**Tabla 11. Oferta Coste de Montaje del CCM**

---

*Diseño del Centro de Control de Motores en una planta de azúcar mediante el cálculo de las intensidades de cortocircuito*



Se ha solicitado precio para transporte del cuadro desde Madrid hasta Jerez por el grupo transportista DHL (adjunto hoja de presupuesto en anexo *Oferta Transporte\_DHL*).



**Tabla 12. Oferta Coste de Transporte del CCM**

## 6.5. PRESUPUESTO TOTAL DEL CENTRO DE CONTROL

Descripción	Medición	Precio unitario	TOTAL
<b>Aparamenta</b>	UN	41,359.48 €	41,359.48 €
<b>Estructura chapa y soportes</b>	UN	19,996.22 €	19,996.22 €
<b>Cobre</b>	kg	7.7 €/kg	3,583.58 €
<b>Estudios de diseño + delineación</b>	H.	118 hora	4,860 €
<b>Montaje + mat. auxiliar</b>	H.	500 horas	12,150€
<b>Pruebas de rutina IEC61439</b>	H.	20 horas	820€
<b>Transporte Madrid - Jerez</b>	M	7 metros	543.04 €
			<b>83,312.32 €</b>

**Tabla 13. Resumen de presupuesto**



## 7. CONCLUSIONES

El presente trabajo propone una metodología para el dimensionamiento adecuado de un Centro de Control de Motores a partir de los esfuerzos electrodinámicos máximos y la intensidad de cortocircuito que se puedan presentar dentro de este cuadro eléctrico de potencia. Estos datos se usan, para el dimensionamiento de un soporte de barras conductoras adecuado y una selección correcta de interruptores automáticos que servirán de protección a los motores existentes en una planta de azúcar situada en Jerez (Cádiz). Por lo que, para la instalación seleccionada, se realizan los cálculos de esfuerzos electrodinámicos y de intensidad de cortocircuito para unos Juegos de Barras conductoras de cobre dados por un fabricante del sector, según los parámetros eléctricos, ambientales y constructivos especificados por la empresa azucarera, que serán; la intensidad nominal, la temperatura ambiente, la compartimentación y el grado de protección IP .

Los elevados valores que pueden alcanzar las corrientes de cortocircuitos generan esfuerzos electrodinámicos y térmicos de considerable magnitud en las barras, aisladores, interruptores y demás elementos de los circuitos recorridos por estas corrientes.

Las redes eléctricas generan campos magnéticos que son producto de las corrientes que circulan por ellas y ante esto entre los conductores se presenta fuerzas de atracción o de repulsión. Al ocurrir un cortocircuito se tiene un valor alto de corriente que produce esfuerzos de gran valor denominados esfuerzos electrodinámicos así como esfuerzos térmicos que puede producir daños graves en la red.

Los calentamientos producidos por las corrientes de cortocircuitos pueden conducir a la destrucción, provocando la fusión o debilitando la resistencia mecánica a alta temperatura, justamente cuando aparecen los mayores esfuerzos electrodinámicos. Por ello uno de los objetivos de este trabajo es calcular estos esfuerzos así como un mecanizado correcto de las barras para evitar puntos débiles de contacto o superficies.

Cuando se presentan fuertes corrientes, los esfuerzos electrodinámicos desencadenados adquieren verdadera importancia, y si la construcción no es muy robusta, son capaces de superar la resistencia mecánica de los materiales, provocando la ruptura de barras. Para esto se determina el tipo de falla que produce los más altos esfuerzos, y en base a estos, se calcula las fuerzas que soportaran los equipos para así poderlos dimensionar correctamente. La instalación seleccionada para llevar a cabo el estudio es una planta de tratamientos de azúcar, y comenzamos por realizar el estudio de cortocircuito para determinar la falla que nos da la peor corriente por fase.

Según se presenta en este documento, y gracias a la Ley de Ampere, vemos que dos alambres o cables tendidos uno al lado del otro están permanentemente sometidos a fuerzas que, si son lo suficientemente fuertes, pueden moverlos. Todo depende de la corriente que conducen. A valores nominales normalmente el tamaño (peso y volumen) de los cables permite una posición estable, pero a valores extraordinarios, como los de un cortocircuito o la corriente de arranque de un motor, es posible que los cables se muevan, por eso es importante sujetarlos firmemente en las bandejas portacables y dentro de los cuadros. Como se puede apreciar en el punto 4 de cálculos, en los cuadros con barras, la separación entre las mismas, su sección y la altura de los aisladores condicionan la corriente de cortocircuito que el sistema de barras puede soportar.

En un sistema trifásico, en todo momento la barra del medio trata de acercarse a una u otra de las otras dos. Una fase la atrae y la otra la repele. Lo mismo ocurre entre dos espiras contiguas en el arrollamiento de una bobina. Por ejemplo en un motor donde se debe fijar adecuadamente a los arrollamientos para que los alambres al moverse no dañen a su propia aislación. Esta fijación se realiza mediante ataduras y barnizado. Todos conocemos el clásico zumbido de un núcleo cuando tiene su laminación suelta. El motivo es el mismo. En cada chapa se induce una corriente que reacciona con la corriente de la chapa vecina y ambas se mueven. El barnizado no sólo se aplica para aislar a los devanados, lo que se busca es una masa rígida que impida que las partes se muevan.

Por el mismo efecto los contactos de un contactor tienden a desprenderse con una corriente muy superior a la asignada y se destruyen. Ante un cortocircuito las piezas metálicas de cualquier interruptor tratan de moverse y si no estuvieran adecuadamente montadas y dimensionadas el interruptor se desarmaría.

El límite de la corriente de cortocircuito que un interruptor es capaz de soportar y/o maniobrar está fuertemente ligado a su resistencia mecánica, a los esfuerzos electrodinámicos.

Hasta ahora sólo hemos mencionado algunos de los efectos negativos de los esfuerzos electrodinámicos.

Recordemos que gracias a ellos funcionan los motores, ya que el rotor reacciona con el arrollamiento del estator y esto es un aspecto positivo de los esfuerzos electrodinámicos.

También es positivo que en un interruptor compacto, gracias a un diseño adecuado, la apertura de los contactos se acelere logrando velocidades tales que lo hacen capaz de limitar a la corriente de cortocircuito aumentando su capacidad de

ruptura. En los seccionadores, que no son capaces de abrir a una corriente de cortocircuito, y nos interesa que la resistan, aprovechamos a estos esfuerzos electrodinámicos para que los contactos se cierren con más fuerza.

Por tanto, en el alcance del presente proyecto se ha realizado el estudio de cortocircuito con el fin de calcular la peor falla que se pueda presentar a través del método de las impedancias. Tomando como elementos la red aguas arriba de MT, la línea aérea, el transformador MT/BT y la red de BT (formada por las barras de cobre). En este proceso hemos podido sacar como conclusión principal que la impedancia producida en el Juego de Barras principal no es despreciable y su dimensionado es importante de cara a un cálculo correcto.

Además podemos concluir que cuanto mayor sea la sección de barras mayor será la intensidad de falla o de cortocircuito.

Si la Sección del conductor aumenta:  $R_b \downarrow \Rightarrow R_c \downarrow \Rightarrow Z_c \downarrow \Rightarrow I_c \uparrow \Rightarrow I_{cc} \uparrow$

Además en el presente proyecto, se llevó a cabo el cálculo de las fuerzas electrodinámicas debido a los altos valores que alcanza ante un caso de cortocircuito y los perjuicios materiales que puede producir en los equipos implicados y que justifica la importancia de la resistencia mecánica de los juegos de barras y su ubicación en unos soportes adecuadamente diseñados. En el presente proyecto hemos demostrado que es necesario un valor máximo de distancia entre soportes a lo largo del embarrado principal de un Centro de Control de Motores, ya que el conductor más solicitado debe soportar una fuerza que dependerá directamente de este parámetro siendo, además, proporcional al cuadrado de este valor.

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \left( \frac{\beta_1 \cdot 6 \cdot [F_1/L]}{8 \cdot l \cdot w^2 \cdot n} + \frac{\beta_2 \cdot 6 \cdot [F_2/L]}{8 \cdot l \cdot w^2} \right) d_s^2$$

Cabe mencionar que estos cálculos no sustituyen los ensayos con valores reales, pero son indispensables para el diseño de nuevos productos y para responder a casos específicos. De ahí la importancia que tiene para instaladores y/o usuarios el escoger unos equipamientos que tengan la máxima garantía (por un fabricante original mediante ensayos Tipo) o que estén constituidos por elementos estándar modificados, montados en fábrica y verificados (por un fabricante del conjunto con ensayos Individuales).

En los dos casos, la importancia de los ensayos es evidente. Pero estos ensayos necesitan grandes inversiones que sólo los grandes fabricantes pueden soportar teniendo en cuenta la infraestructura que necesitan y su propio coste.

A partir de estos tipos verificados, las modificaciones de diseño son, a pesar de todo, posibles; es entonces cuando, en una cierta medida, la aproximación por el cálculo y el «saber hacer», pueden suplir a la experimentación.

Por último, en el presente proyecto no sólo se han tenido en cuenta cálculos para un diseño correcto del Centro de Control de Motores en cuestión, también se ha realizado toda una selección de aparamenta y estructura que conforman un armario completo y su posterior ensamblado, ensayo, y puesta en marcha en campo, con una valoración económica completa asociada a todos los procesos llevados a cabo para poder realizar una instalación íntegra y correcta según la normativa vigente. Cabe destacar la importancia de realizar una valoración económica correcta de todas y cada una de las partes implicadas para un proyecto completo, de cara a la realización de una explotación rentable y amortizable a la inversión inicial de los equipos instalados.

### 7.1. LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

Se propone realizar el proceso inverso de cálculo llevado a cabo en el presente proyecto, obteniendo los valores de sección de las barras conductoras a partir de una intensidad de cortocircuito dada. De este modo, se diseñaría una solución de embarrados conductores a un sistema de aparamenta dado o existente.

Ya que toda variación de intensidad de una corriente en un conductor modifica la sección de paso implicada, también se podría realizar un estudio de las pérdidas suplementarias en los conductores de cobre diseñados producidas por los efectos pelicular y de proximidad. Es importante tener presentes estos fenómenos al diseñar ciertos juegos de barras, ya que esta particularidad, implica un sobredimensionamiento de los conductores, elevadas pérdidas de energía y, por tanto, un mal rendimiento general de la explotación. De esta manera se podrían tener en cuenta los costes asociados a las pérdidas totales para evaluar la rentabilidad del juego de barras a emplear.

Por último, debido a los cada vez más complejos diseños de cuadros eléctricos entre fabricantes, ya sea por ahorro de material o por necesidad de reducción de tamaños por espacios limitados, se propone el estudio llevado a cabo en el presente proyecto, aplicado a conductores no rectilíneos o de configuraciones más complejas. Existen numerosas maneras de disponer los conductores o de añadirles un entorno perturbador, para las que las fórmulas de este proyecto no son aplicables, por lo que, un método que permita ampliar este análisis sería una propuesta muy útil para dar solución a los problemas existentes derivados de nuevos diseños, cada vez más patentes, en el mercado de la distribución eléctrica.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2015). “OCM Única. Organización Común de Mercados Agrícolas”.  
<<http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/regulacion-de-los-mercados/organizaciones-comunes-de-mercado-y-regimenes-de-ayuda/>>  
[Consulta: 15 de mayo 2015]
- [2] CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN (2015). <<http://www.cnp.go.cr/>>  
[Consulta: 22 de mayo 2015]
- [3] AYMERICH MATUTE, S. Guía de instalación de plantas procesadoras de dulce de caña de azúcar: instalaciones físicas, requisitos sanitarios y buenas prácticas de manufactura.  
<<http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/guia-de-instalacion-de-plantas-procesadoras-de-dulce-de-cana-de-azucar-instalaciones-fisicas-requisitos-sanitarios-y.pdf>> [Consulta: 2 de junio 2015]
- [4] IQUIMICAS. Proceso industrial de extracción del azúcar de la remolacha azucarera  
<http://iquimicas.com/proceso-industrial-de-extraccion-del-azucar-de-la-remolacha-azucarera/> [Consulta: 4 de junio 2015]
- [5] AENOR (2011). *Conjuntos de Aparamenta de Baja Tensión. Reglas generales*. IEC 61439-1:2011. Madrid: AENOR.
- [6] AENOR (2011). *Conjuntos de Aparamenta de Baja Tensión. Conjuntos de aparamenta de potencia*. IEC 61439-2:2011. Madrid: AENOR.
- [7] AENOR (2011). *Calculo de los efectos de cortocircuito*. IEC 865-1:2011. Madrid: AENOR.
- [8] AENOR (2011). *Cobre y aleaciones de cobre. Barras y alambres de cobre para usos eléctricos generales*. UNE-EN 13601:2014. Madrid: AENOR
- [9] ASEA BROWN BOVERI, S.A. (2014). *Catálogo Técnico System pro E Power*. ABB Group: Madrid
- [10] SIEMENS AG (2007). *Catálogo Centro de Control de Motores de Siemens*. Alemania: Siemens AG
- [11] SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS (2013). *Low voltage switchboard*. Catalogue Okken. Grenoble: Altavia Connexion.

- [12] GE INDUSTRIAL SOLUTIONS (2014). *SEN Plus Reliable LV switchgear solutions*. Madrid: GE Industrial Solutions
- [13] ROEPER, R. (1985). *Corrientes de Cortocircuito en Redes Trifásicas*. Alemania: Marcombo S.A
- [14] MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (2003). *Guía técnica de aplicación: Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*. Edición sep 03, revisión 1.
- [15] THIERRY, J.P. (1993). *Los esfuerzos electrodinámicos en los juegos de barras de BT – Cuaderno técnico de Schneider*. Madrid (2000): Grupo Schneider
- [16] ELECTROINSTALADOR (2009). *Efectos eléctricos: Principio de Ampère*. Madrid: Grupo Electro.
- [17] PRYSMIANCLUB. *Cálculo de sección por el criterio de la intensidad de cortocircuito*. <<http://www.prysmianclub.es/es/articulo/ejemplo-de-calculo-de-seccion-por-el-criterio-de-la-intensidad-de-cortocircuito-metodo-simplificado>>
- [18] SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS (2013). *Quality inspection guide*. Grenoble (Francia): Schneider Electric Industries SAS